

KANDIDÁTUSI ÉRTEKEZÉS

A vasúti pálya geometriai
állapotértékelésének
elméleti alapjai

VASZARY PÁL

1992

D/16.634

PREAMBULUM

KANDIDÁTUSI ÉRTEKEZÉS

A dolgozatnak nem, és nem is lehet célja, újat
találni a matematika, fizika vagy a filozófia tár-
sában.

A VASÚTI PÁLYA GEOMETRIAI ÁLLAPOTÉRTÉKELÉSÉNEK

ELMÉLETI ALAPJAI

Magyar Tudományos Akadémia, Budapest, 1992. március 10.

Vaszary Pál

VASZARY PÁL

1992

PREAMBULUM

A dolgozatnak nem, és nem is lehet célja, újat mondani a matematika, fizika vagy a filozófia bármely területén.

Ezzel szemben fontos feladatának tekinti azt, hogy a vasúti pályafenntartási szervezet tevékenységét irányító elveket a lehető legnagyobb mértékben a természeti törvényekkel hozza összefüggésbe.

Győr, 1992. március hó

Danany Ró

.....

2
4
7
11
13
16
18
20
24
33
34
37
39
47
49
50
51
52
54
61
61
65
66
67
73
78
80
82
82
85

T a r t a l o m

	Oldal
Használt jelölések, fogalmak	2
1. Bevezetés	4
2. Múltbeli pályafenntartási rendszerek és a jelen adottságai	7
3. A pályaalapot hanyatlásának elmélete	11
3.1. A modellalkotás lényege és a választott modell	11
3.2. A választott szinusz-modell indoklása, megvédése	13
3.3. y -irányú sebesség, gyorsulás és erő a modellben	16
3.4. A modell korlátai	18
3.5. Az állapot hanyatlás levezetése a modell alapján	20
3.6. A romlás képletéből levont következtetések	24
3.7. Analógiák és általánosítás	33
3.8. A pályaromlás elméletének tapasztalati igazolása	34
4. Az energia ekvipartíciójának érvényesülése	37
5. A tünetek közös alapra helyezése (Az entrópia fogalma)	39
6. Vágánydiagnosztikai elemek a pálya anyagi korszakában	47
7. A nyomtávminősítés kérdése	49
8. A lokális geometriai mérethatárok elmélete	50
8.1. A mérethatárok verbális kategorizálása	51
8.2. A mérethatárrendszer és a sebesség összefüggése	52
8.3. Az elmélet szembesítése a gyakorlattal	55
8.4. A síktorzulás, mint külön elbírálást igénylő kivétel	61
8.5. A mérethatárok és a mérési rendszerek kapcsolata	61
9. Általános vonalállapot geometriai megítélése	65
9.1. A statisztikai állapotjellemzők eloszlásának jellege	65
9.2. A mérő- és minősítőszámok standardizálása	67
9.3. Az eloszlásgörbék alakszámai	85
10. A pályaromlás és a pénzügyi kérdések összekapcsolása	86
Irodalmi hivatkozások	90
Függelék	92
I. Korábbi eredmények	92
II. Az entrópia értelmezései	98

HASZNÁLT JELÖLÉSEK ÉS FOGALMAK

Az értekezés több tudományágat érint, melyeknek megszabott önálló jelölési rendszere van. Ezért gyakran előfordul, hogy egyazon betűjelet különböző fogalmak, változók, állandók jelölésére kell használni. Ezekből a szövegben egyes jelölések és indexeinek értelmezése verbálisan is megtalálható. Az indexek minden esetben magyarázatot nyernek.

G	= görbület (m^{-1})
ϕ	= irány
s	= ívhossz, mint természetes paraméter = síktorzulás, a vágány elfordulásának mértéke a pálya hossz tengelye körül rögzített hosszon
x	= a pálya hossz tengelye = a síktorzulás mérhető hibája (mm/m)
y	= a pálya vízszintes síkjában a hossz tengelyre merőleges koordinátatengely = a vízszintes síkban mérhető hiba, irányhiba, ívmagassághiba (mm)
z	= a pályasíkra merőleges koordinátatengely = a függőleges síkban pályahiba, fekszinthiba, süppedés (mm)
X	= az x síktorzuláshibák adott hosszra (általában 500 m-re) vonatkoztatott statisztikai mérőszáma (terület)
Y	= az irányhibák mérőszáma (terület)
Z	= a fekszinthibák mérőszáma (terület)
SAD	= a mérőszámokból additív úton a síktorzulással súlyozott minősítőszám (terület)
C	= általános állapotjellemző (indexei szöveg szerint)
C_0	= kezdeti általános állapot
m	= a pályán áthaladt járműtömeg (10^6 tonna)
m_e	= a pályán évente áthaladó járműtömeg (10^6 tonna/év)
m	= a statisztikai sokaság várható értéke
m_0	= a várható érték minimuma
m	= túlemelés (mm)
V	= sebesség (km/h)
v	= sebesség (ms^{-1})
v_t	= érintőirányú sebesség
v_x	= névleges haladási sebesség az x tengely mentén
v_y	= y-irányú sebesség
v_e	= ekvivalens sebesség: különböző szerelvények v_x sebességeinek négyzetes átlaga

a_y	= y-irányú gyorsulás (ms^{-2})
F_y	= y-irányú erő (N)
$F()$	= különböző valószínűségi változók eloszlásának jelölése
L	= a pályahiba hullámhossza (m)
A	= a pályahiba amplitúdója (m)
E	= energia (indexek jelei szöveg szerint) (J)
α	= romlási ráta
M	= munka (indexek jelei szöveg szerint) (J)
M	= mérőszámokból képzett minősítőszám (pl. SAD)
A, B, C	= a három megnevezett hibakategória jele
Q	= tengelyteher (kN)
ξ	= vágány oldalirányú ellenállásának állandója
W	= vágány oldalirányú ellenállása (kN)
W	= statisztikai (termodinamikai) valószínűség
τ	= α reciproka, a vágány ellenállóképessége a romlást előidéző ismétlődő erőkkel szemben
β	= állandó
s, t, k, a	= sín, talpfa (alj), kapcsolószer, ill. ágyazat állapotmérőszáma
w	= lehetséges események száma
k	= Boltzmann állandó
σ	= szórás
σ_0	= primitív szórás. (A kezdeti elméleti normáleloszlás szórása)
S	= entrópia
n	= mennyiség, szám, általában szokásos jele
ϵ	= tetszőleges kis mennyiség
P	= a valószínűség jele
N	= eloszlásgörbe alakszáma
N	= létező mikroállapotok száma
K	= pénzben mért érték
K_0	= pénzben mért kezdeti érték
p	= kamatláb
l	= húr hossz
h	= ívmagasság $l/2$ húr hossz
H	= ívmagasság l húr hossz

Általában nem használt, de itt alkalmazott jelek:

\hat{C}	utalás maximumra
\sim	arányos
$\hat{=}$	megfelel

1. B E V E Z E T É S

A vasúti pálya és a rajta továbbított járművek egységes rendszert alkotnak. A szerkezeti rendszer működéséhez szükséges energiának egy része szétszóródik és a szerkezet elhasználódását okozza.

A pálya fokozatos elhasználódásának ellensúlyozását nevezhetjük pályafenntartásnak. Amennyiben e tevékenységnek bizonyos elvekhez igazodó rendje és eszköztára van, pályafenntartási rendszerről beszélhetünk.

A pályadiagnosztika alkotóeleme a pályafenntartási rendszernek. Szerepe és egyben nélkülözhetetlen feladata abban áll, hogy biztosítja a rendszer műszakilag helyes, gazdaságos működtetéséhez szükséges információkat. A pályadiagnosztika tehát az az elemző munka, amely a pályát igénybe vevő járművek mozgásából származó energia és a fenntartására fordított mechanikai és szellemi energia közötti egyensúly megteremtésének módját keresi.

A pályadiagnosztikának két fontos fejezete van: a mérés-technika és az értékelés-technika.

A mérés-technika a mérőeszközök, mérőberendezések, mérőkocsik szerkezeti kivitelével, ezekbe épített számítástechnikai berendezések hardverével foglalkozik. Ide tartoznak a geometria valamint a szerkezeti elemek látható és rejtett hibáinak megállapítását szolgáló berendezések.

Az értékelés-technika nem más, mint a mérés-technika által szolgáltatott információk (jelek, mérőszámok stb.) magyarázata, feldolgozása és értékelése.

A külföldi szakirodalomban kezd elterjedni a fenntartási filozófia fogalma (maintenance philosophy). A szerzők ez alatt a pályadiagnosztika, a fenntartási munkáltatás és a költségek összhangjának megteremtését és optimalizálását értik. [71] [81] (1.1. ábra)

Filozófiáról mindaddig nem lehetne beszélni, amíg azt a résztudományt, amelyet művelünk, nem törekszünk a természet-tudomány legáltalánosabb törvényéhez illeszteni. Nem lehet

tehát filozófiáról beszélni, amíg csak mérések alapján mondjuk, hogy valami azért igaz, mert ezt mértük. Ha gondolkodásmódunkat filozófiának nevezzük, el kell jutnunk odáig, hogy azt mondhassuk: mérési eredményeink helyesek, vagy nem helyesek, mert a természet törvényei alapján más eredményt nem is várhattunk.

A pályát fenntartó mérnök nem lehet mindenben empirista vagy pozitivistá, mert lényegükben egynemű pályarészek sokaságával, nagymintájával van dolga, tehát tudnia kell, hogy méréseitől mit várhat, mi a várható érték. Ellenkező esetben a véletlen jelenségekből fog általánosítani és az átfogó törvényekkel kapcsolatot találni sohasem lesz képes.

Aki a sokaság viselkedésével foglalkozik, annak tudnia kell, hogy mindaz, amit mér, lényegében csak valószínű érték, csak része a valóság egy-egy tünetének.

1. GENERAL

DB are required by law to maintain their installations (tracks and switch and crossing work) in good working order and to renovate or replace them in line with the state of the art. DB distinguish three aspects of maintenance, viz.:

- inspection
- servicing
- maintenance proper.

All the measures applied in the actual maintenance operation are based on the results of the inspection, i.e. the work is geared to the condition of the track rather than carried out at regular intervals or after a certain tonnage of traffic.

13. COMPUTER-AIDED TRACK MAINTENANCE AND RENEWAL

13.1 Philosophy

In order to meet competition from other modes of transport there is an increasing demand upon the railways to improve reliability, efficiency and transit times. The resulting requirements for improvements in speed and axle load mean that the demands made upon the track are becoming more onerous. In order to provide cost-effective track to meet this need in the future it is essential to be able to improve the methods by which the performance of the track is monitored and to have reliable methods for prediction and planning.

Maintenance and renewal of large railway networks require huge amounts of money. For example the annual expenditure for NS permanent way (price level 1986) amounts to about Hfl 250 million. Only 6% of this value concerns mechanized track maintenance and 24% manual track maintenance. It is therefore obvious that the large expenses are due to track renewal. To achieve an effective cost reduction the decision-makers need to be provided with adequate information. With objective data of this sort, processes become more transparent and thus can be better controlled.

This kind of approach is also necessitated by the lack of exact technical criteria for making decisions on track maintenance and renewal. From studies carried out by ORE committee D 117 it became apparent that the scatter in most parameters is quite substantial [89]. In fact the subsequent permanent way committee D 161 confirmed this conclusion [97]. All these experiences tend towards the direction that no general rules can be applied, but that relevant data should be gathered for monitoring track quality and component failure. Via extrapolation of these data future values may be estimated.

1-1. ábra. Szekingó környékén tett mérések
 annak megállapítására, hogy a
 1810-es sorozatú síléc milyen mértékben
 járul hozzá a sínpályák állapotának
 romlásához.

2. MÚLTBELI PÁLYAFENNTARTÁSI RENDSZEREK ÉS A JELEN ADOTTSÁGAI

A vasutak pályafenntartási szervei mindenkor azt a munkarendet tekintették rendszernek, amelyhez megfelelő eszközzel rendelkeztek.

A kézi szerszámok idejében a pályafenntartási rendszer a fagymentes időszakban elvégzendő munkák sorrendjét jelentette: tavasszal először a nagyobb geometriai hibák megszüntetését végezték el. Ezt követte a talpfacsere és nyomtáv-, végül a gondos fekszint- és irány szabályozás.

A vágányszabályozás fokozatos gépesítésével kialakult rendszer a ciklusidők rendje volt. Itt a felépítmény rendszerének, korának és a vonal forgalmi terhelésének függvényében, de lényegében szubjektív alapon meghatározták azokat az időtartamokat, amelyek elmúltával a pályafenntartási gépláncoknak ugyanarra a vonalra ismét vissza kellett térniük.

A vágányszabályozó gépek megjelenését a vágánymérőkocsik fejlődése kísérte és így, megszerveződhetett az állapotfüggő fenntartási rendszer. Ez már nem ciklusidők szerint extenzíven, hanem a pálya diagnosztizált pillanatnyi állapotától függően behatóan (intenzíven) szervezte meg a gépi vágányszabályozások ciklusos rendjét. Ez a rendszer sem lehetett még tökéletes mindaddig, míg a vágánymérőkocsi mérési stabilitása nem volt megbízható [F.I.]: A mérési stabilitás hiánya azt jelentette, hogy csekély időeltéréssel a mérési eredmények ugyanazon a pályaszakaszon nagyobb szórást mutattak, mint a pálya állapotának várható változása. [24] [64] Az állapotmegítélés bizonytalan volt, tehát nyilvánvaló, hogy az állapotfüggő fenntartási rendszer sem lehetett tökéletes. Ehhez három feltétel hiányzott:

- megbízható diagnosztikai eszköztár, tehát megbízható mérő és értékelő berendezések csoportja;
- *elmélettel alátámasztott* számítógépes döntésszervező rendszer;
- a rendszer működéséhez szükséges hardver feltételek kialakítása.

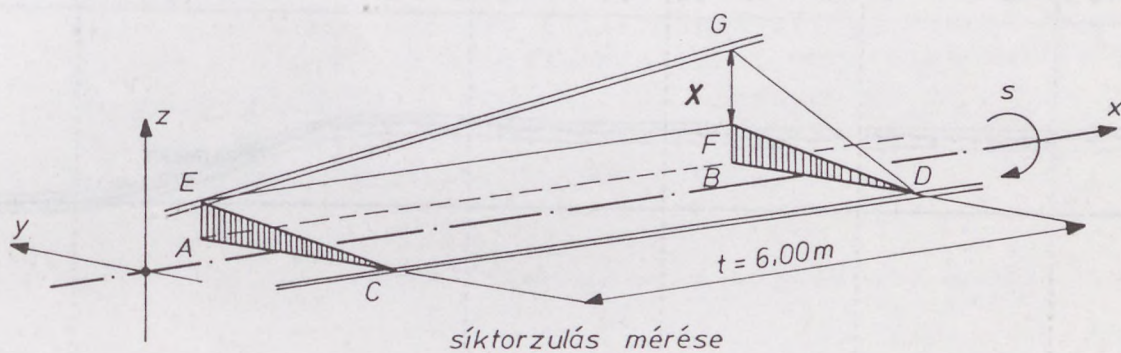
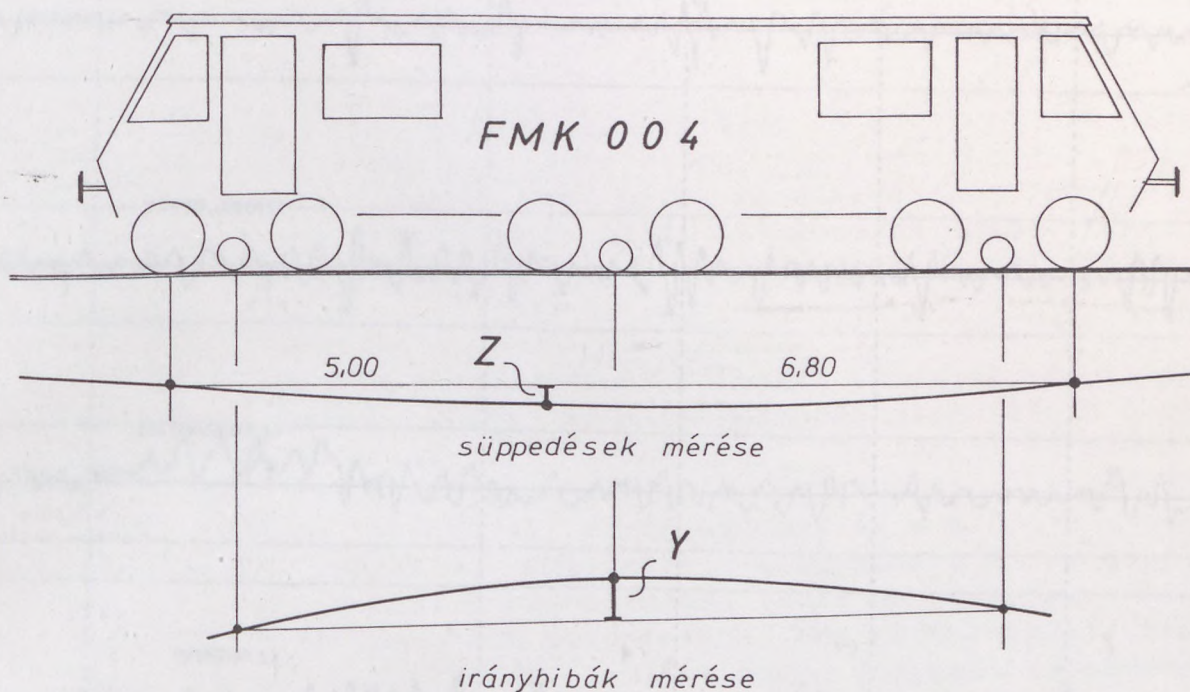
A számítógépi hálózat a MÁV-nál kiépülőben van. A pályafenntartási egységek rendelkezésére IBM PC AT számítógépek

gépek beszerzése folyik. A helyi szubjektív pályaelőíró részére PSION Organizer kézi adattároló gépegységek rendszeresítését tervezi a MÁV.

A MÁV Plasser EM120 típusú felépítményi mérőkocsija (FMK 004) kielégítő pontossággal mér, regisztrál és fedélzeti számítógépének segítségével (PERKIN-ELMER) tárolja a mért adatokat. (2.1. ábra) (2.2. ábra)

Igaz ugyan, hogy a három ponttal letapogatott ívmagasságértékek átviteli karakterisztikája bizonytalanságot okoz. Ezért e rendszert sokan és gyakran támadják. De tudni kell, hogy a mérési bázis optimalizálásának érdekében a gyártó cég széleskörű kutatási munkát végeztetett. A végső megoldás megmaradó és elkerülhetetlen bizonytalanságát a mérés stabilitása sokszorosán kárpótolja. Mindenesetre el kell fogadni, hogy bizonytalanságok mindig vannak és az egyik bizonytalanság a mérés átviteli karakterisztikájában rejlik. A bizonytalanságot azzal lehet csökkenteni a jövőben, hogy a geometriai mérésekkel egyidőben gyorsulásmérések is történjenek. Így minden tárgyi feltétel adott ahhoz, hogy a lehető legracionálisabb pályafenntartási rendszer alakulhasson ki a Magyar Államvasutak vonalhálózatára. Lehetőség nyílik a hálózat teljes figyelemmel-kísérésére, tehát nem csupán állapottól, hanem állapot változásától függő, teljesen objektív cselekvési rend létrehozására.

Az átfogó elmélet lényegét és annak korlátait e dolgozat foglalja össze.



$$E F D C = \text{sík}$$

$$\overline{BG} - \overline{AE} = \Delta m \text{ (túlemeléskülönbség)}$$

$$\frac{\Delta m}{t} = X \text{ síktorzulás (s)}$$

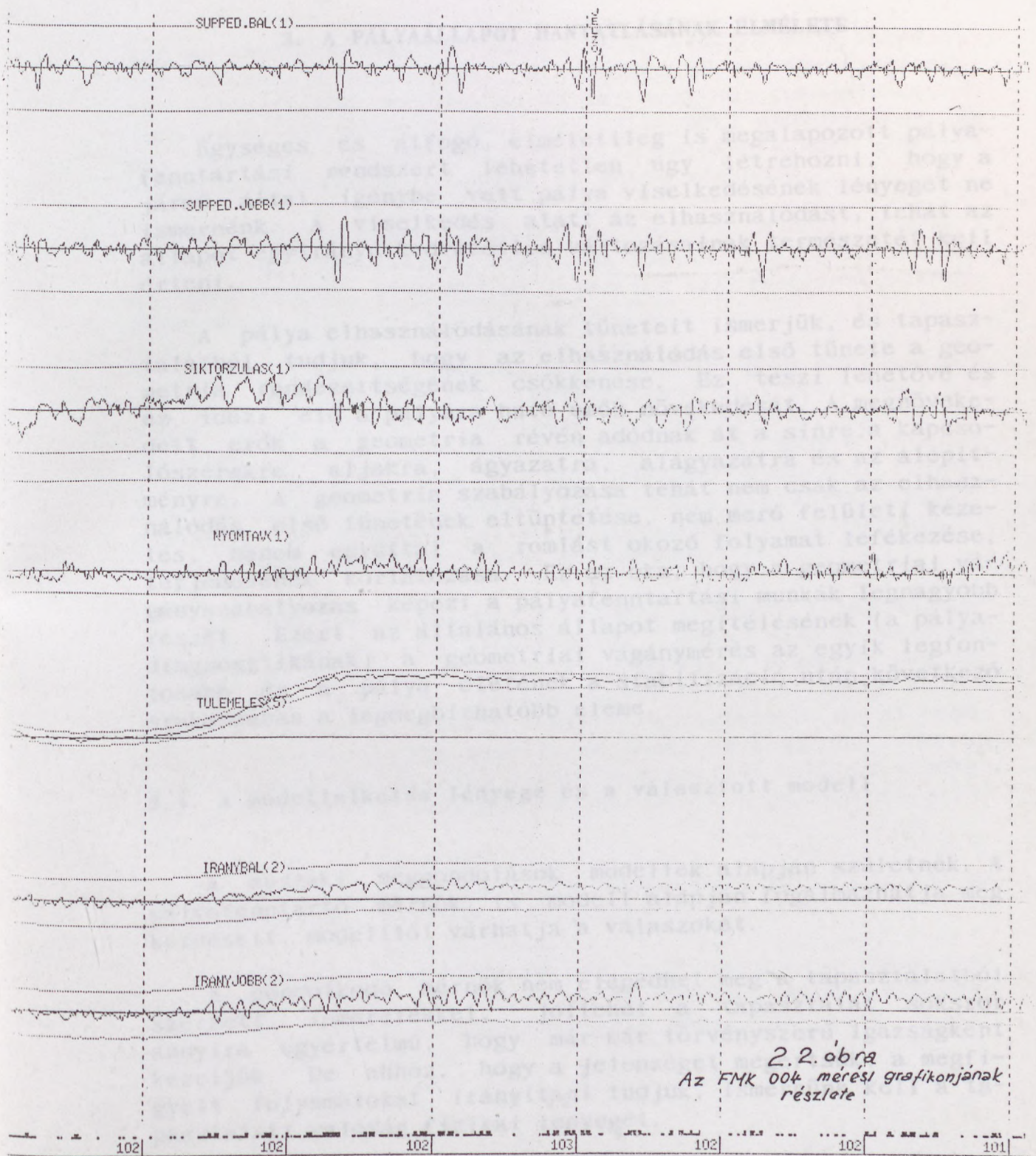
a fedélzeti computer az m túlemelést az $m = \int s dx$ képlet alapján állítja elő.

2.1. ábra

A 004 pályaszámú felépítményi mérőkocsi mérési vázlata.

Az s síktorzulás az x -tengely körüli elfordulás. Mint hibát, s -t x -szel jelöljük.

A nyomtáv mérését az ábra nem tünteti fel.



2.2. ábra
Az FMK 004 mérési grafikonjának részlete

3. A PÁLYÁÁLLAPOT HANYATLÁSÁNAK ELMÉLETE

Egységes és átfogó, elméletileg is megalapozott pályafenntartási rendszert lehetetlen úgy létrehozni, hogy a jármű által igénybe vett pálya viselkedésének lényegét ne ismernénk. A viselkedés alatt az elhasználódást, tehát az állapot egyirányú kedvezőtlen változásainak természetét kell érteni.

A pálya elhasználódásának tüneteit ismerjük, és tapasztalatból tudjuk, hogy az elhasználódás első tünete a geometria rendezettségének csökkenése. Ez teszi lehetővé és ez idézi elő a pályára ható erők növekedését. A megnövekedett erők a geometria révén adódnak át a sínre, a kapcsolószerekre, aljakra, ágyazatra, alágyazatra és az alépítményre. A geometria szabályozása tehát nem csak az elhasználódás első tünetének eltüntetése, nem merő felületi kezelés, hanem egyúttal a romlást okozó folyamat lefékezése, terjedésének korlátozása. Ez az oka, hogy a geometriai vágányszabályozás képezi a pályafenntartási munkák legnagyobb részét. Ezért az általános állapot megítélésének (a pályadiagnosztikának) a geometriai vágánymérés az egyik legfontosabb és a pálya életének a stabilizáció után következő szakaszában a legmegbízhatóbb eleme.

3.1. A modellalkotás lényege és a választott modell

A műszaki megfontolások modellek alapján születnek. A pályafenntartó mérnök is modell alapján fogalmazhatja meg kérdéseit, modelltől várhatja a válaszokat.

A gondolkodó mérnök nem elégedhet meg a tapasztalatból szerzett ismeretekkel, jóllehet a tapasztalat sokszor annyira egyértelmű, hogy már-már törvényszerű igazsággént kezeljük. De ahhoz, hogy a jelenséget megértsük, a megfigyelt folyamatokat irányítani tudjuk, ismernünk kell a tapasztalati valóság fizikai lényegét.

A tapasztalat a tények alapján nyert ismeret, a tapasztalatot elméletileg meg kell alapozni, vagyis be kell sorolni a matematikai, fizikai jelenségek sorába. Ez a besoro-

lás az induktív elméleti munka. Ha az elmélet és a tapasztalat összhangja megszületik, a jelenség törvényszerűsége egyre valószínűbbé válhat, és az eredmény bár fokozatosan, de tudatosan hasznosíthatóvá lesz a mérnöki gyakorlatban. Ez már deduktív tudományos munka. "A valóság minden ismerete tehát tapasztalattal kezdődik és ebben végződik."

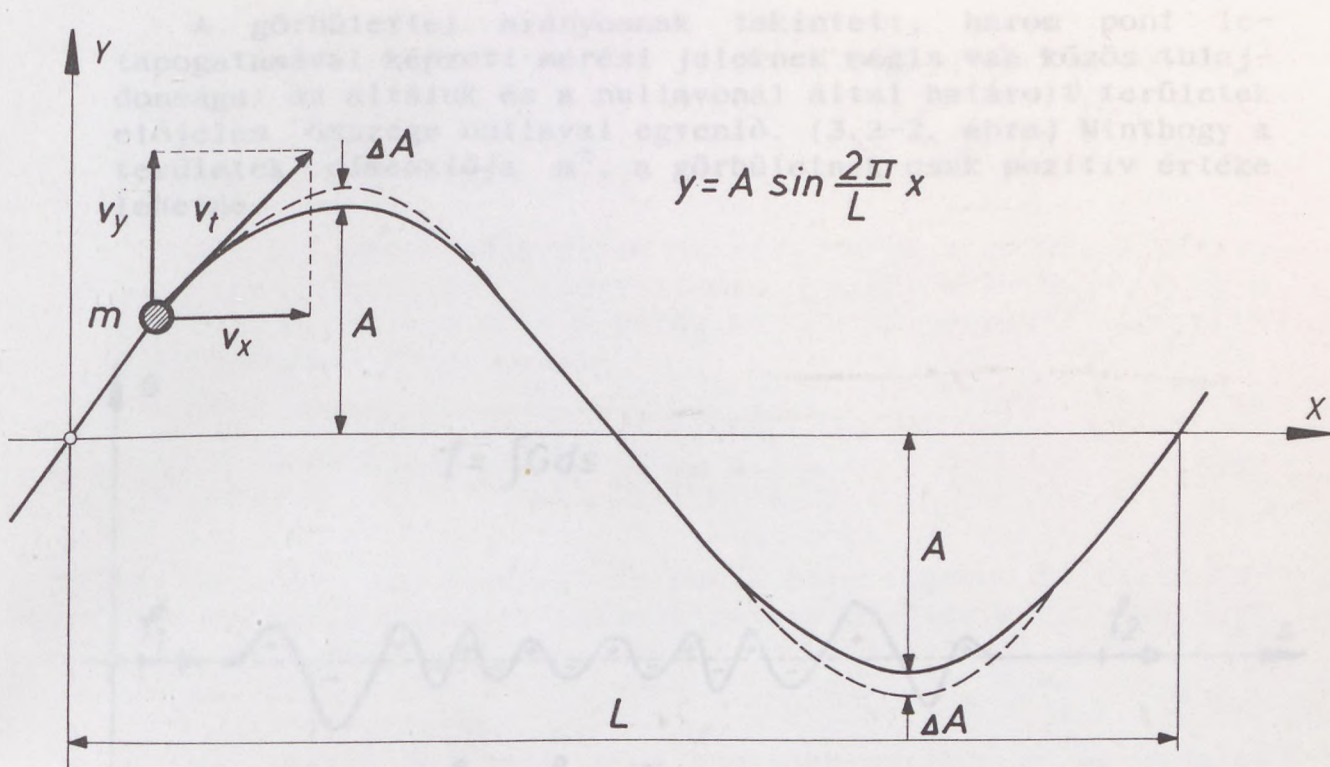
Az induktív munka eszköze a matematikai modell. A modell elvezet a tapasztalati ismeretek logikai megfogalmazásához és igazolásához, ilymódon az ismeretek kifejezésének alapvető eszköze.

A modell úgy kapcsolódik a valósághoz, hogy megragadja a valóság egy részét, azt leegyszerűsíti olyképpen, hogy matematikailag könnyen kezelhető legyen. A jelenséget a modellalkotás csak úgy egyszerűsítheti le, hogy a jelenség alapvető jellegét meg ne változtassa, ugyanakkor lényegi megnyilvánulását alkalmassá kell tennie a kvantitatív tárgyalásra. E leegyszerűsítés az elvonatkoztatás vagy absztrakció: *"Nem adhat mást, mint mi lényege."*

Az absztrakció kiemeli a valóság lényeges tulajdonságait, elválasztja a lényegteltől. Erre való törekvéssel együtt jár az, hogy a modell alapján nyert eredmény nem lehet minden véletlen részeredményre érvényes, hanem csak a sokaság várható értékére. Minél részletesebb, annál nehezebben kezelhető egy modell, de annál érvényesebb lehet az egyedi esetekre. Az erős elvonatkoztatással viszont a sokaság viselkedésére vonatkozóan nyerhetünk megbízhatóbb eredményt.

Minderről beszélni kell, mert a modell megválasztása az Achilles-sarka a legtöbb elméletnek.

A választott modellünk az egy szabadságfokú szinusz-alakú kényszerpálya. Ez azt jelenti, hogy z -irányban nem mozdulhat el. Torziója nincs, görbülete tehát csak az y ; x síkban van. (3.1-1. ábra)



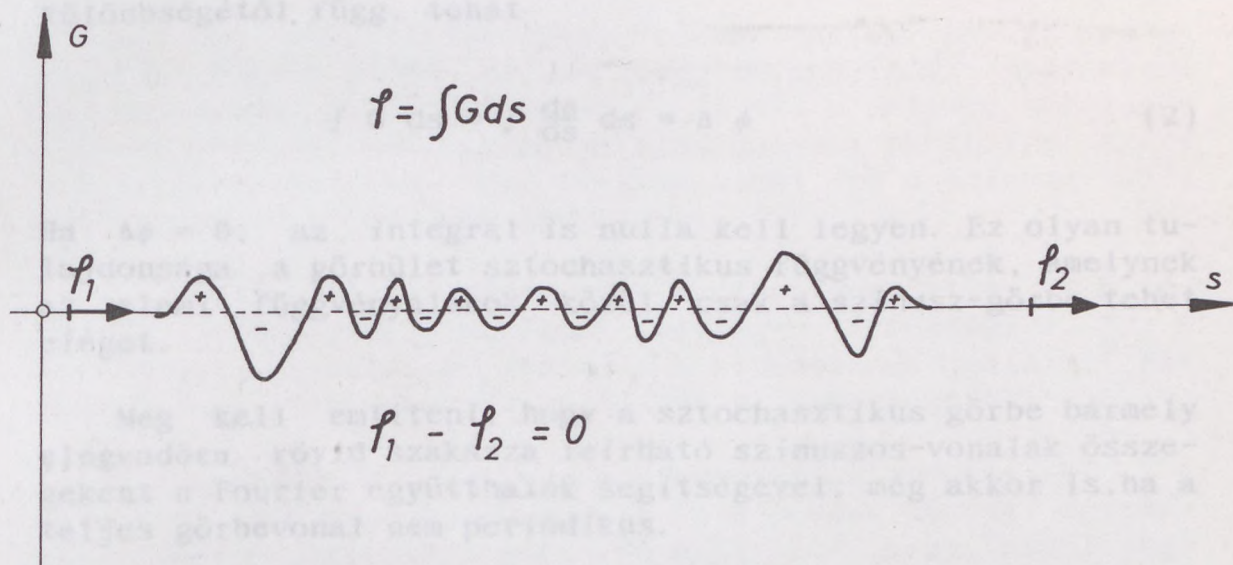
3.1. - 1. ábra A hanyatló pályaállapot geometriai modellje

3.2. A választott szinusz-modell indoklása

A vonalat tervező mérnök mértani rajza a tökéletesnek képzett pálya modellje. A valóságos, megépült vasúti pálya modellje már nem lehet az egyenes, vagy a körív, mert egyrészt ezek az elképzelt idealizált geometriai alakok tökéletesen nem valósíthatók meg, másrészt a terhelés hatására a geometria a valóságos pályán fokozatosan eltávolodik az eredeti, relatíve legrendezettebb állapotától.

A modellnek ennek megfelelően a rendezetlen geometriát kell visszaadnia. Behatóan szemlélve a névlegesen egyenesnek tekintett pályát, az már feltárja hullámvonal jellegét. A mérési grafikonokon látjuk, hogy még a legkiválóbb pálya görbületi ábrái is kivétel nélkül hullámzanak a nullavonalaik mentén.

A görbülettel arányosnak tekintett, három pont le-
tapogatásával képzett mérési jeleknek mégis van közös tulaj-
donsága: az általuk és a nullavonal által határolt területek
előjeles összege nullával egyenlő. (3.2-2. ábra) Minthogy a
területek dimenziója m^2 , a görbületnek csak pozitív értéke
lehetne.



3.2.-2. ábra A vágánymérési grafikon elvbeni görbületi
ábrán a nullavonal felett és az alatt mér-
hető területek egymással egyenlők.

Ezért helyesebb volna úgy fogalmazni, hogy az ideális
geometria vonalától jobbra és balra eső, a görbület vonala
által határolt területek összege egyenlő. Viszont síkgörbék
esetén, ívekben a görbület két irányát megállapodásszerűen
előjellel különböztetjük meg: a görbületi középpont felől
nézve a görbe konkáv és pozitív. Az elmozdulások tekintet-
ben, minthogy a középponttól távolodó görbeszakasz a görbű-
letet növeli, a "kifelé" történő elmozdulást tekintjük po-
zitivnak.

Előbbi állításunk bizonyítása a következő:

Legyen a G görbület az s ívhossznak, mint független
változónak függvénye:

$$G = f(s) \quad (1)$$

A görbület tehát független a koordinátarendszer megválasztásától és csak a görbe alakjától függ. "s" tehát a sík görbe természetes paramétere és az (1) függvény a sík görbe természetes egyenlete. [72]

Ha elfogadjuk definíció szerint, hogy a görbület elemei ds úton elemi dφ irányváltozás, akkor belátható, hogy a görbületek összege csak a görbe kezdő- és végponti irányának különbségétől függ, tehát

$$\int G ds = \int \frac{d\phi}{ds} ds = \Delta \phi \quad (2)$$

Ha $\Delta \phi = 0$, az integrál is nulla kell legyen. Ez olyan tulajdonsága a görbület sztochasztikus függvényének, amelynek az elemi függvényalakok közül csak a szinusz-görbe tehet eleget.

Meg kell említeni, hogy a sztochasztikus görbe bármely elegendően rövid szakasza leírható szinuszos-vonalak összegeként a Fourier együtthatók segítségével, még akkor is, ha a teljes görbevonala nem periódikus.

Végül meg kell gondolnunk, hogy a véletlenszerűen hullámzó nyomvonal bármely szakaszát választjuk is ki a sok közül, egyikről sem tételezhetjük fel, hogy gyakoribb akár melyik másiknál, mégkevésbé azt, hogy az a legvalószínűbb alakja a romló pályának. Így, ha modell gyanánt az előbb elmondottak alapján az

$$y = A \sin \frac{2\pi}{L} x \quad (3)$$

függvényt választjuk, nem állíthatjuk azt, hogy ennél valószínűbb geometriai alakot találhatnánk.

Egyébként létezik más vonatkozásban is olyan pályahiba-modell, nevezetesen az E-jelű vágánykivetődés alakja, amely (bár csökkenő amplitúdóval) megfelel a folytonos szinuszos-vonalnak.

További érv, a kerékpárok által a szinuszos-futás közben leírt út, melyhez a pálya alakjának bizonyos valószínűséggel alkalmazkodnia kell.

A modellel helyettesített pálya (3) egyenletében x a pályamenti független változó, y a pályára merőleges ordináta, az A amplitúdó a legnagyobb kitérést jelenti. Az L hullámhosszát állandónak tekintjük, mert a kezdő és végpont közötti egyenes pályahossz mindig változatlan és a romlás során is állandónak kell maradnia:

$$L = \text{const} \quad (4)$$

Ezt az alapfeltételezést mechanikailag az is alátámasztja, hogy a pályát befutó tömeg normálirányú gyorsulása az inflexiós pontban nulla. Tehát itt a pályára merőleges erő sem létezik, amely a pálya elmozdulását okozhatná. Ezért modellválasztásunkba nem viszünk hibát, ha a szinusz-vonal hullámhosszát állandónak tekintjük.

A járművet, mint eddig több esetben megtettük, az m tömeggel jelképezzük, amelynek névleges sebessége v . Ezt a sebességet egyenlőnek vehetjük a hibátlanak tekintett pályán haladó jármű abszcissza-irányú v_x sebességével.

A közelítést a következő megfontolással indokoljuk: Fel kell tételeznünk, hogy az A és B pontok közötti egyenes utat (\overline{AB}) a járművek azonos idő alatt futják be, attól függetlenül, hogy a járművek (vagy csak kerékpárjaik) a leg-rövidebb egyenes út helyett az irányhibával terheltebb hosszabb utat teszik meg. Ezesetben tehát az érintőirányú v_t sebesség nyilvánvalóan nagyobb v -nél, de ez egyenlő a névleges sebességgel:

$$v_t > v_x = v \quad (5)$$

A (3), (4) és (5) képletekben rögzítettek alkotják modellünk kezdeti geometriai feltételeit.

3.3. y -irányú sebesség, gyorsulás és erő a modellelben

A modellel (3.1. ábra) rögzített feltételek mellett az m tömegpont útja:

$$y = A \sin \frac{2\pi}{L} x \quad (3)$$

A láncszabály értelmében idő szerint deriválva, vagyis a

$$\frac{dy}{dt} = \frac{dy}{dx} \frac{dx}{dt} = \frac{dy}{dx} v_x \quad (6)$$

összefüggést felhasználva, adódik az y-irányú sebesség:

$$v_y = y' v_x = \frac{dy}{dx} \frac{dx}{dt} = \dot{y} = Av_x \frac{2\pi}{L} \cos \frac{2\pi}{L} x \quad (7)$$

A v_y sebesség vektoriálisan hozzáadódik a v_x sebességhez. Ezzel tulajdonképpen v_y^2 a többletenergia mértéke, amelyet a vontatójárműnek a nem tökéletes pályán fedeznie kell. (Ennek jelentőségére később visszatérünk.)

Ahhoz, hogy a pályára merőlegesen ható erőt megkapjuk, az y-érték második deriváltjára, nevezetesen az y-irányú gyorsulásra van szükségünk:

$$a_y = \frac{d^2y}{dt^2} = \ddot{y} = -Av_x^2 \frac{4\pi}{L^2} \sin \frac{2\pi}{L} x \quad (8)$$

Felírható a pálya-menti y-irányú erő, mint a tömeg és gyorsulás szorzata x függvényeként:

$$F_y = m a_y = -m A_x v^2 \frac{4\pi^2}{L^2} \sin \frac{2\pi}{L} x \quad (9)$$

Tudjuk, hogy az elmozdulásra merőleges erő munkát nem végezhet.

Az y-irányú erőkomponens a szélsőértékek kivételével nem merőleges a pont érintőirányú haladására, így munkát végezhet, amely a sínzsalnak a pozitív irányban észlelhető elmozdulásában nyilvánulhat meg. A pálya csak mérhető hosszban mozoghat el, ezért az elmozdulás az A amplitúdó ΔA megváltozásában figyelhető meg.

A vágány torzítására fordított mechanikai munka visszafordíthatatlan: F_y erő munkája a vágány rugalmas elmozdulását eredményezi, melynek egy része maradandó elmozdulás kell legyen. Az F_y erőnek ugyanis nem csupán a vágánykeret rugalmas ellenállását kell legyőznie, hanem az aljak és az ágyazat, és egyéb súrlódásos ellenállásokat is.

A munkává alakult E energia tehát a rugalmas alakváltoztatásra, valamint a súrlódási ellenállás legyőzésére használódik fel:

$$E = M_r + M_s \quad (10)$$

Mint ahogy az elmozdult vágányban csak az E -nél kisebb M_r helyzeti energia tárolódik, ez nem lehet képes arra, hogy $M_r + M_s$ nagyságú munkát végezzen és a vágányt eredeti helyére visszahelyezze. Így valaminő igen csekély ΔA maradandó amplitúdóváltozásnak szükségszerűen a kerékpárok elhaladása után vissza kell maradnia.

Az alakváltozás tehát visszafordíthatatlan: irreverzibilis. Ebből következik, hogy az amplitúdónövekedés, mint a pályaromlás egyik tünete igen kis változások összegződésé-
ként jelentkező egyirányú folyamat.

3.4. A modell korlátai

A választott modell alapján általánosítani kívánunk. Cé-
lunk az, hogy a pálya viselkedésének jellegét megismerhes-
sük. Ez nem jelenti azt, hogy a levezetendő általános
összefüggés alapján máris konkrétumokat ismerhetünk meg. A
modell nem lehet a kutatás végső célja, de kijelölheti a va-
lóságkeresés útját. Ennek az útnak legelején járunk.

Ha valamely tudományág - még ha az csak egy jelentékte-
len ága is egy diszciplínának - azt állítja magáról, hogy
befejezett, már meg is szűnt tudománynak lenni, konkrétummá
válík, amit egyszerűen tudomásul kell venni.

A modellnek fel kell tárnia a korábban még ismeretlen
összefüggéseket. De a modell alapján körvonalazódik az is,
hogy mi az, amit még nem konkretizálhatunk, csak jelölünk
valamilyen betűvel, de meghatározatlanként benne kell hagyni
képletünkben.

Modellünkben ismeretlen például a fajlagos elmozdulás,
amellyel a pálya az ébredő erő hatására elmozdulhat. Ezt a
kérdést a következő gondolatmenet igazolja:

Feltételezve, hogy a kerékpár követi a sínszálat, azzal érintkezve, munkát végezhet. E munka az y értékek csekély növekedésében, tehát a már y értékkel elmozdult pálya további Δy elmozdulásában nyilvánul meg. A végzett munka nem lehet nagyobb, mint az ehhez rendelkezésre álló energia, mint munkavégzőképesség. Ezt az energiát a (7) képletből adódó v_y sebességből számíthatjuk:

$$E = \frac{1}{2} m v_y^2 \quad (11)$$

Ez a munkaképesség egyenlő a W ellenállással bíró vágányt Δy értékkel elmozdítani képes energiával:

$$\frac{1}{2} m v_y^2 = \Delta y W \quad (12)$$

Ebben a képletben v_y^2 ismert, m és W csak becsülhető: Nyilvánvaló, hogy a jármű rugózott tömegéhez lazán kapcsolt rugózatlan tömeghányadot ismerjük de kérdés, hogy az oldali-rányú erő létrehozásában a rugózott kocsiszekrény mekkora hányada játszik szerepet? A W oldalirányú ellenállásra vonatkozóan ugyan ismert a Sonnevile és Bentöt által megállapított ún. Prud'homme-féle képlet, de az értékei nem az ismétlődő, szóráson belüli erők hatását adják. A képlet a következő:

$$W = \xi \left(10 + \frac{Q}{3} \right) \text{ kN} \quad (13)$$

ebben Q a tengelyterhet jelenti, ξ a pályaszerkezettől függő, az egységtől nem nagyon különböző empirikus állandó.

Ez a képlet azért nem alkalmas statisztikai számításokra, mert kis elmozdulásokra nem érvényes és csak a vágánytorzulást okozó egyetlen erő küszöbértékére ad felvilágosítást. Nem terjed ki arra sem, hogy ezzel az erővel hány aljat érintő elmozdulásról van szó. A vasútgépezeti kutatásoknál - hiányosságai ellenére - ma is ezzel a képlettel számolnak. Jobbat nem ismerünk.

Ha a valóságos viszonyokat megbecsülve, az elmozdulás Δy értékét számítjuk ($v_x = 27,7 \text{ ms}^{-1}$, $W = 17\,500 \text{ N}$, $A = 0,01 \text{ m}$, $L = 20 \text{ m}$, $m = 2000 \text{ kg}$), akkor $\Delta y = 0,00043 \text{ m}$ eredményre

jutunk. De figyelembe kell vennünk, hogy ez az elmozdulás több aljra oszlik el. Ma még nem tudjuk kvantitatíve meghatározni azt sem, hogy Δy -ból mennyi a maradandó érték.

A pályafenntartási tevékenységet tehát jelenleg az ismétlődő terhelések hatásának megbízható ismerete nélkül kell végezni. Megismerésére csak a statisztikai elemzés vezethet el.

A fajlagos romlás nem csak a modell esetében ismeretlen. A romlás folyamatában szereplő minden tünetnek ismeretlen a fajlagos értéke és ezek változásának valószínűsége.

A modell minderre nem adhat közvetlen választ, de utalni kell a statisztikailag feldolgozandó kérdésekre.

3.5. Az állapothanyatlás levezetése a modell alapján

A pályageometria rendjének hanyatlása a nyomvonal elmozdulásának eredménye. Minthogy a geometriai hibák, helyváltozások igen kis lépések sokaságából adódnak, a Hooke-törvénynek alkalmazását megengedhetőnek tarthatjuk. Ennek alapján az alakváltozás közelítően arányos az azt létrehozó erővel:

$$\Delta A \sim m F_x$$

$$\Delta A \sim A m v_x^2 \frac{4\pi^2}{L^2} \sin \frac{2\pi}{L} x \quad (14)$$

A rugalmassági modulus ismeretlen, ezért egyenlőség helyett csak arányosságot jeleztem. Minthogy a szinuszfüggvény maximuma a mértékadó és ez az egységgel egyenlő, minthogy továbbá a (14) képletbeni π és L is állandók, és ezért nem változtatnak az arányosság fennállásán, a képlet leegyszerűsödik:

$$\frac{\Delta A}{A} \sim m v_x^2 \quad (15)$$

Minthogy ΔA igen kis érték, és egyetlen kerékpár által képviselt rugózatlan tömeg a teljes vonalterhelés m tömegéhez képest infinitezimálisnak tekinthető, α arányossági tényező bevezetésével írhatjuk:

$$\frac{dA}{A} = \alpha \, dm \, v_x^2 \quad (16)$$

E képlet az általánosítás szempontjából végeredménynek tekinthető. Ugyanis ha nem az irányeltérésekből, hanem például fekszintrendellenességekből indultunk volna el, vagy akármilyen egyéb állapottünetként kezelhető, mérhető jelenséget tekintettük volna gondolatmenetünk alapjának, formailag pontosan erre az összefüggésre jutottunk volna. Ez alapján az amplitúdó A jele helyett a C -vel jelölendő általános paramétert használjuk. (A C jelölés előfordul a hibakategóriák megnevezésénél is. A C jelölés mellett egyrészt a karakterisztika jelleg szól: character, Karakter. Ezért a szövegben mindenütt verbális utalás is történik az azonos betűjelekkel helyettesített fogalmakra.) C tehát a romló rendezetlen állapotnak bármelyik mérhető tünetét jelenti. Ezért a (20) képlet indukált alakja:

$$\frac{dC}{C} = \alpha \, dm \, v_x^2 \quad (17)$$

ebből integrálással:

$$\int \frac{dC}{C} = \int \alpha \, v_x^2 \, dm$$

$$\ln C = \alpha \, m \, v_x^2 + C_1 \quad (18)$$

Minthogy mv^2 az E mozgási energiának kétszerese, megegyezés szerint az α mindig tartalmazni fog egy 2-es faktort. Ezzel az összefüggés így is írható:

$$\ln C = \alpha \, E + C_1 \quad (19)$$

A (18) összefüggést C -ra megoldva:

$$C = e^{\alpha \, m \, v_x^2 + C_1}$$

A képlet a következő módon is írható:

$$C = e^{\alpha m v_x^2} e^{C_1}$$

Legyen:

$$e^{C_1} = C_0$$

ekkor a 3.5-1. ábrán bemutatott függvény a

$$C = C_0 e^{\alpha m v_x^2} \quad (20)$$

alakban a pálya állapotának változását írja le, mégpedig az átgördült m elegymennyiség függvényében.

A sebességet nem a leggyorsabb vonatok sebességeként kell elfogadni; v alatt a gyakorlatban négyzetesen átlagolt v_e ekvivalens sebességet értelmünk:

$$v_x = v = v_e = \sqrt{\frac{\sum m_i v_i^2}{\sum m_i}} \quad (21)$$

ahol az i index a különböző sebességgel haladó vonattípusok tömegére ill. sebességére utal. [F.I.]

Eddig csak a (20) és (21) képletekben fellépő változók minbenlétét ismertük meg, de a képlet valóságos mondanivalóját még nem. A képlet interpretációját, hat következtetésben foglalhatjuk össze. Az értelmezést a 3.5-1. ábra könnyíti meg. A következtetések - bár csak a vasúti pályafenntartás sajátosságaira fogalmazódtak meg - nagy mértékben általánosíthatók:

3.4. A romlás köptetőből levont következtetések

1. Konklúzió

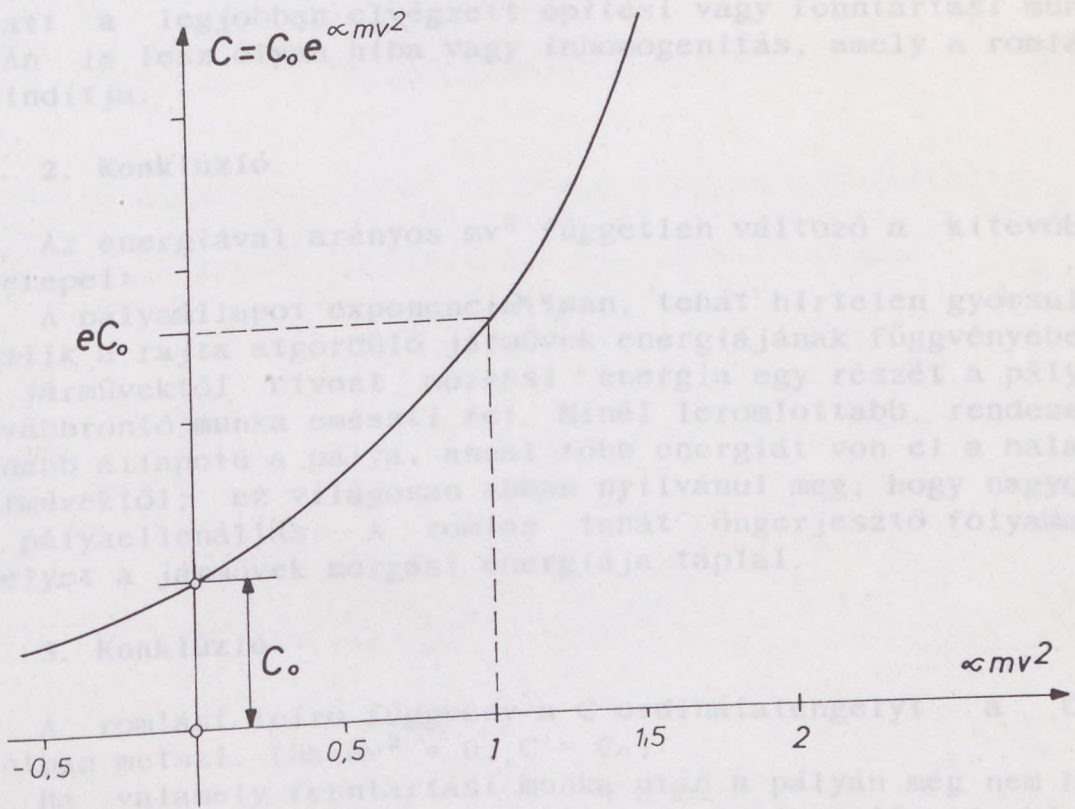
Az exponenciális görbe aszimptotikusan érinti az abszcisszát, $C = 0$ -hoz $mv^2 \rightarrow -\infty$ tartozik.

A pálya, mint létállomány nem lehet annyira tökéletes, hogy további energiabefektetéssel (szűkös és anyaghiányos) ne lehessen tovább javítani. A lehetőségek korlátai miatt a legjobban megépített vagy fenntartási munka után is lehet hibába vagy inhomogenitás, amely a romlást elindítja.

2. Konklúzió

Az energiával arányos mv^2 független változó a kitévőben szerepel.

A pályát állapot exponenciálisan, tehát hirtelen gyorsulva romlik a társított állapotok energiájának függvényében. A járművektől levont energiák egy részét a pályát továbbrontó munka esztendő. Minél leromlottabb, rendezetlenebb állapotba kerül a pálya, annál több energiát von el a haladó járművektől, ez tragosan nyilvánul meg, hogy nagyobb pályaromlás a romlás tehát öngerjesztő folyamat, amelyet a járművek mozgási energiája táplál.



3.5.-1. ábra A pálya exponenciális romlásának ábrája. C a változó, C_0 az elért optimális állapot. ∞mv^2 az áthaladó járművek mozgási energiájának a pályaromlást okozó hányada.

3.6. A romlás képletéből levont következtetések

1. Konklúzió

Az exponenciális görbe aszimptotikusan érinti az abszcisszát, $C = 0$ -hoz $mv^2 = -\infty$ tartozik:

A pálya, mint létesítmény nem lehet annyira tökéletes, hogy további energiabefektetéssel (eszköz- és anyagminőségel) ne lehessen tovább javítani. A lehetőségek korlátai miatt a legjobban elvégzett építési vagy fenntartási munka után is lesz olyan hiba vagy inhomogenitás, amely a romlást elindítja.

2. Konklúzió

Az energiával arányos mv^2 független változó a kitevőben szerepel:

A pályaállapot exponenciálisan, tehát hirtelen gyorsulva romlik a rajta átgördülő járművek energiájának függvényében. A járművektől elvont mozgási energia egy részét a pályát továbbrontó munka emészti fel. Minél leromlottabb, rendezetlenebb állapotú a pálya, annál több energiát von el a haladó járművektől; ez világosan abban nyilvánul meg, hogy nagyobb a pályaellenállás. A romlás tehát öngerjesztő folyamat, amelyet a járművek mozgási energiája táplál.

3. Konklúzió

A romlást leíró függvény a C -ordinátatengelyt a C_0 pontban metszi. (Ha $mv^2 = 0$, $C = C_0$):

Ha valamely fenntartási munka után a pályán még nem haladt át jármű, a pálya állapotát a C_0 érték jellemzi. Minél kisebb a C_0 , annál eredményesebb volt az építési vagy fenntartási munka.

A kezdeti minőségre jellemző C_0 érték kedvező csökkentése valaminő $0 < \beta < 1$ szorzóval az exponenciális görbe abszcisszamenti jobbra tolódását eredményezi.

Bizonyítás:

Legyen valaminő C_j állapot C_0 -nál is jobb állapot:

$$C_0 \beta = C_j < C_0 < C$$

ekkor β kifejezhető negatív kitevőjű hatvánnyal:

$$0 < \beta = e^{-\alpha m_j v^2} < 1$$

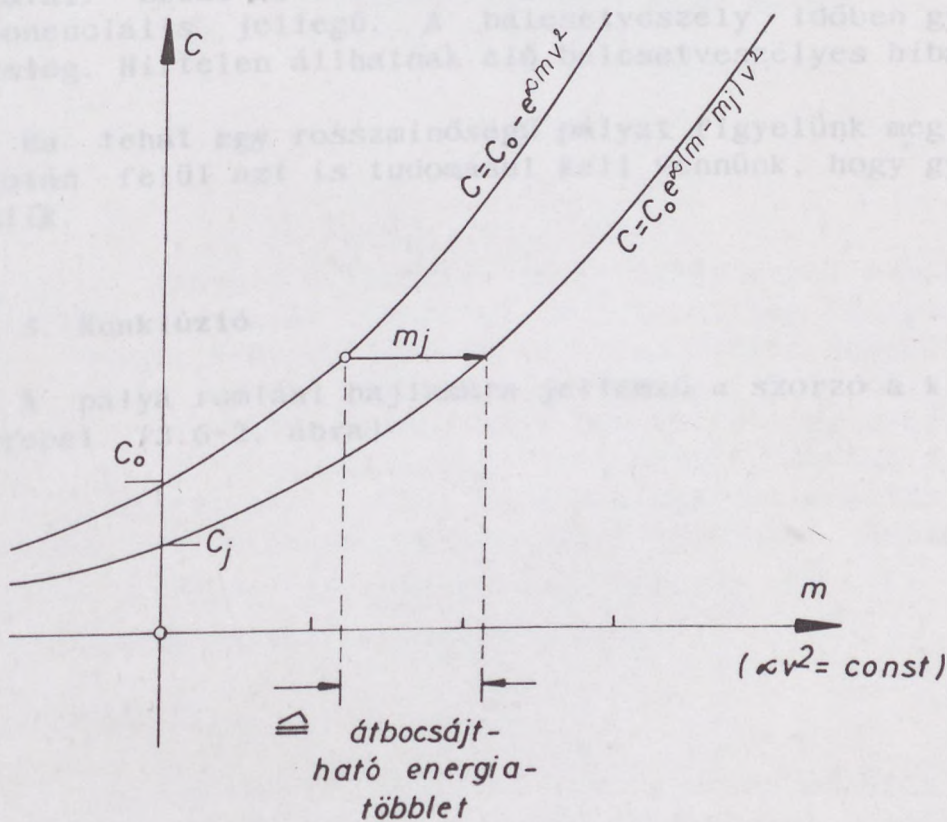
Így a (20) képlet jobb oldalát $0 < \beta < 1$ értékkel szorozva, és az adó C értéket C_j -nek nevezve:

$$C_j = e^{-\alpha m_j v^2} C_0 e^{\alpha m v^2}$$

$$C_j = C_0 e^{\alpha (m - m_j) v^2} \quad (22)$$

4. Következő

A C_0 csökkentése tehát a görbe alakján nem változtat, de lineáris koordinátatranszformációt eredményez: a görbét m_j ($\propto v^2$) értékkel jobbra tolja el. (3.6-1. ábra)



3.6-1. ábra Amennyiben a kezdeti C_0 állapotot tovább tudjuk javítani és C_j állapotot tudunk elérni, m_j -vel nagyobb elegymennyiség átbecsájtását tesszük lehetővé.

A fenntartási vagy építési munka minősége tehát nem befolyásolja a romlás lefolyásának törvényszerűségét, mert csupán a görbe helyét módosítja az abszcissza mentén. Más szavakkal a munka minősége úgyszólván kijelöli a romlás kezdőpontját az abszcisszán és ezzel megszabja azt az energiamentenységet is, amely gyakorlati szempontból is megengedhetőnél nagyobb romlást még nem okozhat. Tehát akkor, amidőn javíthatunk a pályamunka minőségén, lehetővé tesszük azt, hogy a következő pályajavításig nagyobb elegytonna mennyiség gördülhessen át. A képlet törvényjellege tehát bizonyítja, hogy a *minőségi munkának gazdasági értéke van.*

4. Konklúzió

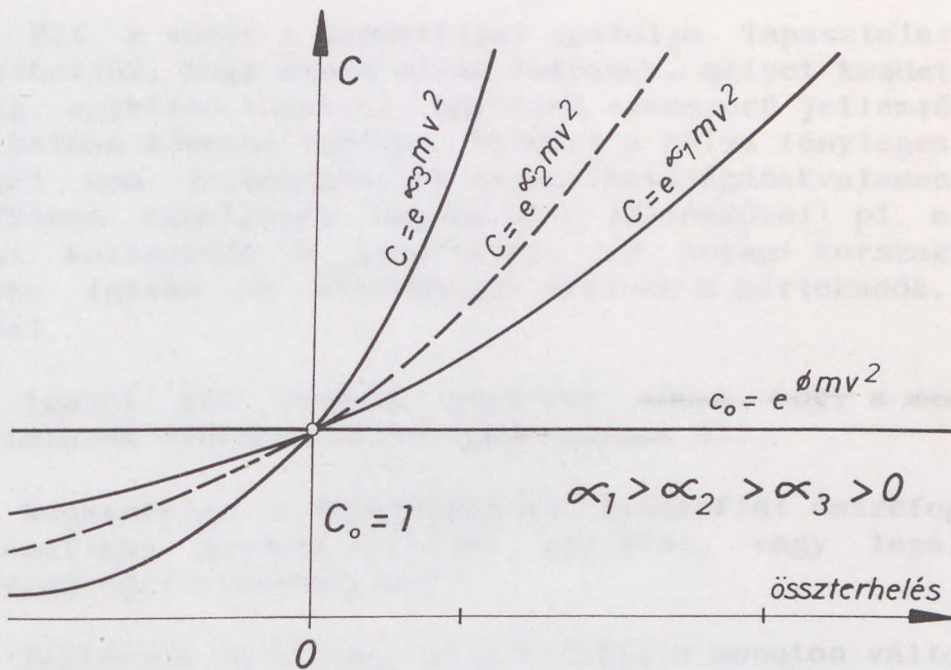
Az exponenciális függvény deriváltja arányos magával a függvénnyel. ($\frac{da^x}{dx} = a^x \ln a$ és $\frac{de^x}{dx} = e^x$)

A pályaromlás sebessége arányos a romlás előrehaladottságával. Ebből következik, hogy az állapot javításigénye is exponenciális jellegű. A balesetveszély időben gyorsulva közeleg. Hirtelen állhatnak elő balesetveszélyes hibák.

Ha tehát egy rosszminőségű pályát figyelünk meg, az állapotán felül azt is tudomásul kell vennünk, hogy gyorsulva romlik.

5. Konklúzió

A pálya romlási hajlamára jellemző α szorzó a kitevőben szerepel. (3.6-2. ábra)



3.6.-2. ábra Az α romlási ráta a pálya méretezettségére jellemző. A terheléshez képest gyengén méretezett pálya gyorsan romlik: α értéke nagy.
 $\alpha = 0$ esetén nincs állapotváltozás.

Az α tényező a terhelés és a vágány ezzel szembeni ellenállának viszonyát tehát a méretezettség reciprokát jelenti. Nagy α -érték azonos terhelés esetén nagyalakváltozást, tehát gyors romlást eredményez. Erős ellenállóképességre tervezett felépítmény késlelteti az elértékteledést és a rendezetlenség növekedését, csökkenti a fenntartási költségeket. Csak végtelen nagy ellenállás ($\alpha = 0$) eredményezhet állandó ($C = \text{const.}$) állapotot. Esetenként α reciprok értékét is használnunk kell: $\frac{1}{\alpha} = \tau$. (τ a pálya ellenállása a rontási munkával szemben.)

6. Konklúzió

Az exponenciális függvény igen gyorsan monoton emelkedik, holott az állapotát jellemző értékek nem nőhetnek minden határon túl.

Ezt a tényt a tapasztalat igazolja. Tapasztalat alapján sejthetjük, hogy nincs olyan folyamat, melyet kezdetétől végéig egyetlen tünettel, egyetlen számszerű jellemzővel megbízhatóan követni lehetne. Például a pálya tényleges állapotát nem jellemezhetjük használhatóságának valamennyi időszakában egyetlenés ugyanazon C jellemzővel: pl. a geometriai korszakban a geometriai, az anyagi korszakban már egyre inkább az ultrahangos mérések a mértékadók. (3.6-3. ábra)

Igazat kell adnunk Hegelnek abban, hogy a mennyiségi változások minőségi változásba csapnak át.

Megkísérlem e tapasztalatnak filozófiai összefoglalását matematikai gondolatmenettel igazolni, vagy legalább valószínűségét alátámasztani:

Tekintsük C -t egy irreverzibilis monoton változó, modellünkben, monoton növekvő folyamat pillanatnyi állapotjellemzőjének.

Legyen C egy korábbi C_0 állapotváltozás eredménye, amelyből következtetünk a későbbi $C_1, C_2, C_3 \dots$ állapotokra.

Valamennyi állapot csakis igen csekély ΔC igen nagy n számú állapotváltozások eredménye lehet:

$$C = n \Delta C \quad (23)$$

vagyis

$$\Delta C = \frac{C}{n} \quad (24)$$

ezzel minden egymást követő n mennyiségű nagyon csekély $\frac{C}{n}$ változás - mindaddig, amíg arányos az állapottal [1.(17)]

$$C_1 = C_0 + \frac{C_0}{n} = C_0 \left(1 + \frac{1}{n}\right) \quad (25)$$

$$C_2 = C_0 \left(1 + \frac{1}{n}\right) \left(1 + \frac{1}{n}\right) = C_0 \left(1 + \frac{1}{n}\right)^2$$

$$C_3 = C_0 \left(1 + \frac{1}{n}\right) \left(1 + \frac{1}{n}\right) \left(1 + \frac{1}{n}\right) = C_0 \left(1 + \frac{1}{n}\right)^3$$

$$C_n = C_0 \left(1 + \frac{1}{n}\right)^n \quad (26)$$

Azzal, hogy már a (25) kifejezésnél C_0 -t kiemeltük, a C_0 és C_n közötti változásokat a korábbi kezdeti (primitív) állapothoz viszonyítottuk. Ellenkező esetben a következő megállapítást kellene tennünk:

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \left(1 + \varepsilon + \frac{1 + \varepsilon}{n}\right)^n =$$

tehát divergens folyamattal kellene számolnunk. $\varepsilon < 0$ esetén a folyamat nullához tartana

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \left(1 - \varepsilon + \frac{1 - \varepsilon}{n}\right)^n = 1$$

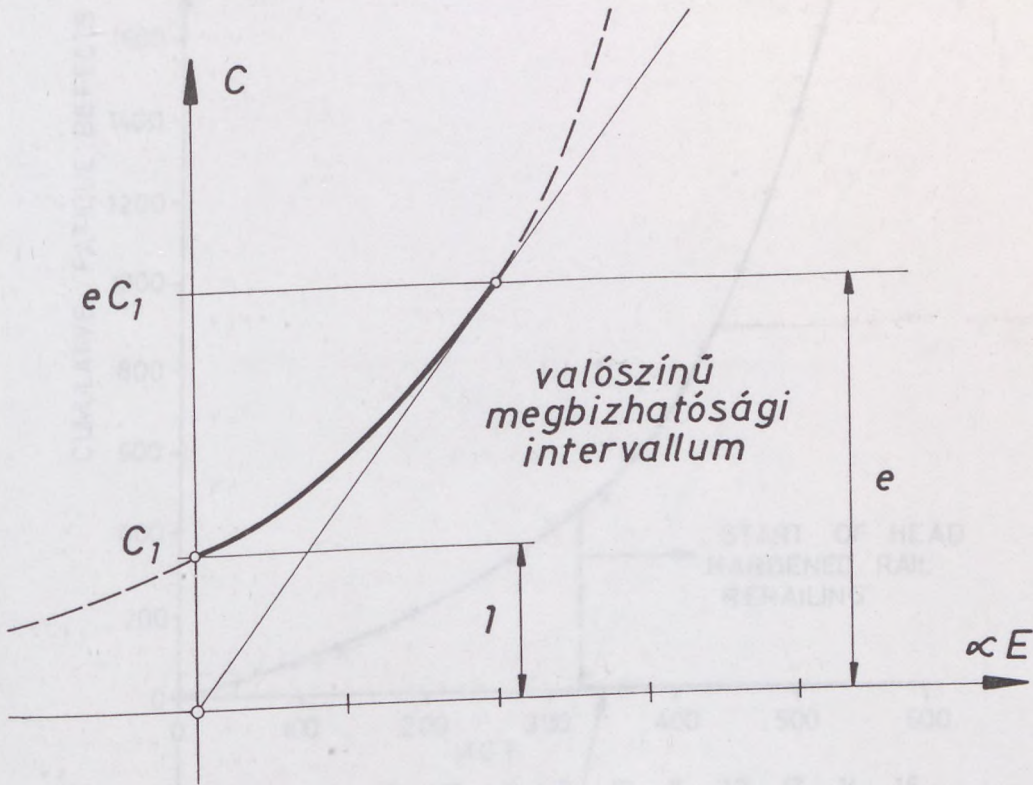
$\varepsilon = 0$ esetében az eredmény a természetes logaritmusok alapja:

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \left(1 + \frac{1}{n}\right)^n = e = 2,71828 \quad (27)$$

A változás tehát egy adott határérték felé tart. Ez nem azt jelenti, hogy az exponenciális romlási folyamat megállt, hanem csupán azt, hogy a folyamatot a korábban bevált C állapotjellemző már nem képes megbízhatóan jellemezni. Minthogy $C_1 = e C_{1+1}$ azt kell megállapítanunk, hogy egy adott megbízható C_1 maximum $C_1 : e$ értékhatárok között lehet megbízható állapotjellemző. Tehát a legmegbízhatóbb jellemzők "e" növekvő hatványainak megfelelően változnak. *A változás kritériumai tehát nem lehetnek invariáns lényegűek.*

A geometriai pályajellemzők, mérő- vagy minősítőszámok tehát már nem lehetnek megbízhatóak az anyagi korszakban.

Előbbiek alapján belátandó, hogy a romló pálya állapotát azonos jellemzővel csak valószínűségi határok között lehet egyetlen változóval megbízhatóan jellemezni, vagyis léteznek jellemző számok, de ezeknek konfidenciaintervalluma korlátozott. (3.6-3. ábra)



3.6.-3. ábra

A geometriai pályaelemzés megbízhatósága nem tarthat nullától bármilyen nagy C értékig. Az e -alapu logaritmusok karakterisztikájának változása már a geometriai jellemzés megbízhatóságának csökkenését mutatja.

Ismeretes, hogy valamennyi vasút a geometriával jellemzi a pályahibákat, de beáll egy korszak, amit már nem a geometriai állapottal, hanem a vágány anyagának állapotával kell megítélni, pl. a sínek anyagi állapotát az ultrahangos vizsgálatok segítségével, mert itt már ezek szemléltetik megbízhatóan a romlás stádiumát. A 3.6-4. ábra egy ausztráliai vasércbánya ultrahanggal megállapított hibaszámainak exponenciális növekedését szemlélteti. A vonal azért alkalmas a folyamat szemléltetésére, mert teljesen homogénforgalmú és e mellett igen nagy terhelésű: $40 \cdot 10^6$ bruttó elegytonna évenként.

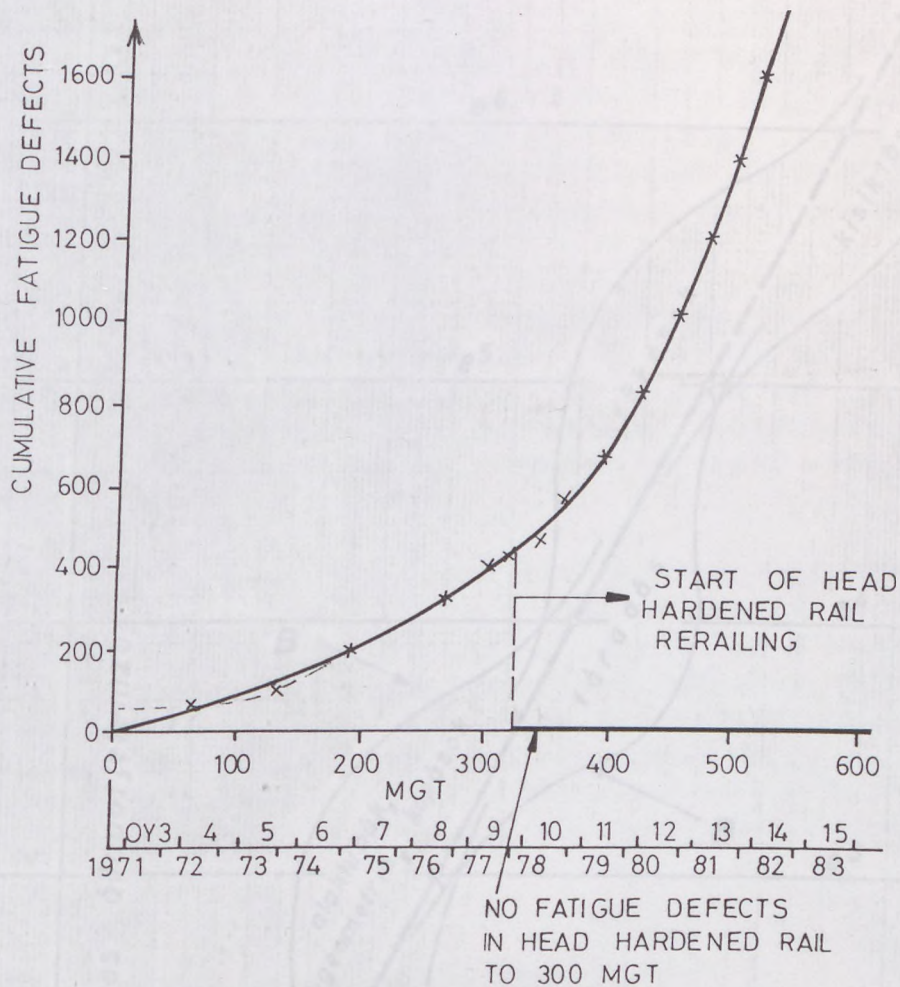
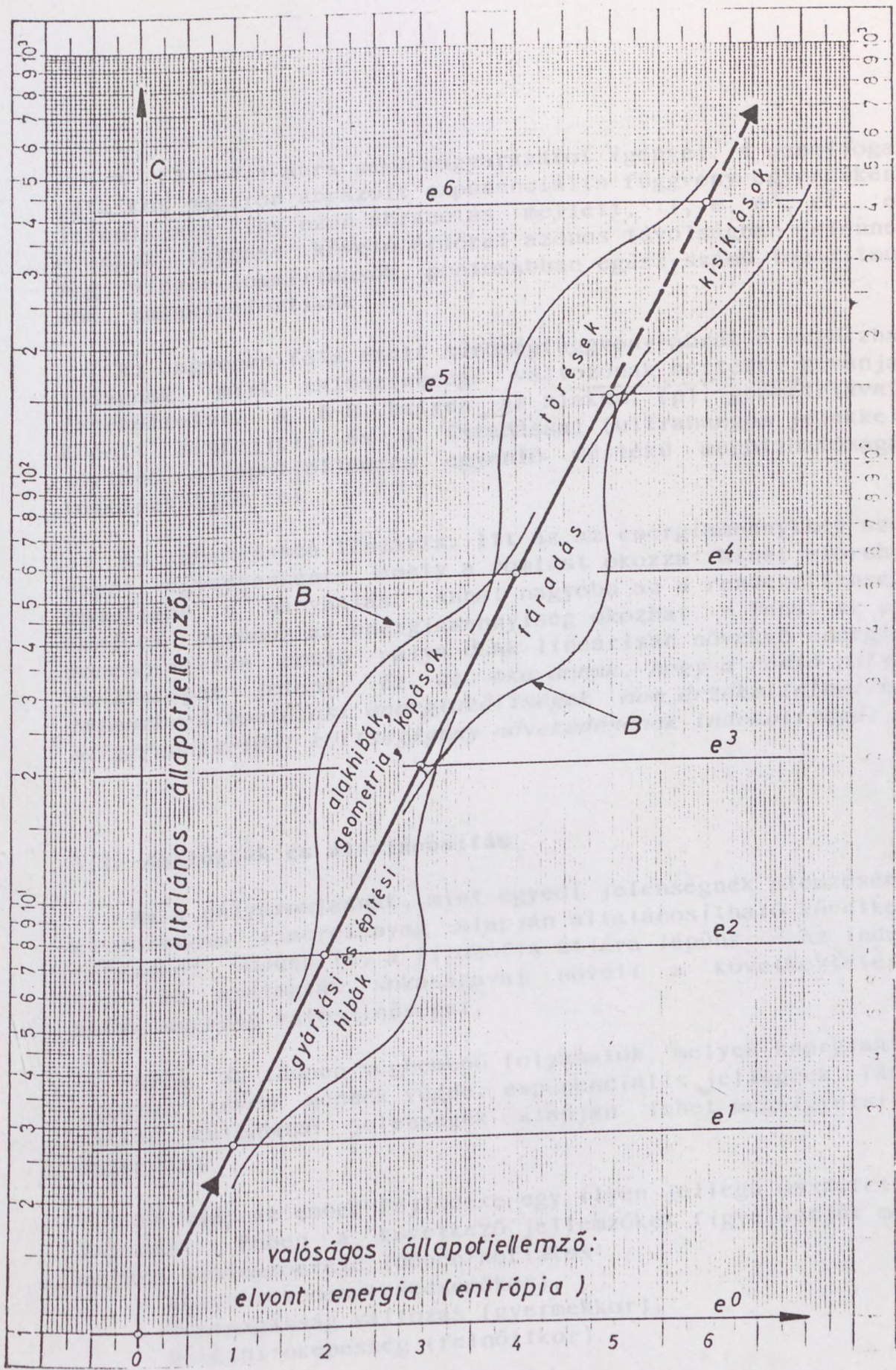


FIGURE 32 PERFORMANCE OF STANDARD CARBON AND HEAD HARDENED RAIL

3.6.-4. ábra A fátadásos sinhibák exponenciális fejlődésének grafikonja, egy nagyteljesítményű bányavasút vonalán. Itt már nem a geometria az állapotjellemző kritérium, az exponenciális jeleget a fátadásos hibák számának növekedése jelzi.

Az exponenciális folyamatot a szemilogaritmikus skálán egyenessel jellemezhetjük. A 3.6-5. ábra szemlélteti az általános pályaromlás-jellemzők feltételezhető konfidenciaintervallumait.



3.6.-5. ábra

Az egyik tengelyen logaritmusos osztás 1-1000-ig. Egység 90 mm.
 A másik mm.

A (3.6-5.) ábra némi magyarázatot igényel. A szemilogaritmikus papíron ábrázolt exponenciális függvény egyenesként jelenik meg. Így ezen ábrázolás mellett, $1, e, e^2, e^3 \dots e^n$ értékek egymást követő értékei azonos távolságban jelennek meg, hiszen logaritmusok, pontosabban egész-számú logaritmusok, karakterisztikák.

Az egyenes fölé emelt sűrűségfüggvény-ábrák a megbízhatóságnak, mint valószínűségi változónak mértékét kívánják érzékeltetni. A B-B helyen az alakkal (pl. geometriával, kopott sínjejjel) és a fáradással (ultrahangos jelekkel) történő állapotjellemezés egyenlő mértékű megbízhatóságát tételezhetjük fel.

Az abszcissza lineáris. Itt az az energiamennyiség szerepel egységként, amely a romlást okozza: Minél előrehaladottabb a hanyatlás, annál nagyobb az a rendezetlenség, amelyet ugyanaz az energiamennyiség okozhat. - Tehát az exponenciálisan romló pálya csak lineárisan növekvő energia-vesztéset jelent. *Ez az oka annak, hogy a romló pályán jelentkező vontatási energiaköltségek nem érzékeltethetik a pályafenntartási költségigény növekedésének indokoltságát.*

3.7. Analógiák és általánosítás

Ha a pályaromlásnak, mint egyedi jelenségnek elemzésénél kibontakozó ismeretanyag alapján általánosítható következtetéseket vonunk le, a filozófia útjára lépünk. - Az indukció az analógiák sokaságával növeli a következtetések helyességének valószínűségét.

Azok az időben végbemenő folyamatok, melyek energiaátalakulás révén mennek végbe, exponenciális jellegűek, fázisaikat különböző jelenségek alapján lehet megfigyelni és értékelni.

Például az ember fejlődése egy ilyen jellegű összetett folyamat. Ebben a következő jellemzőket figyelhetjük meg, melyek jellemzőereje időben korlátos:

- Súlynövekedés (csecsemőkor),
- Testmagasság változás (gyermekkor),
- Munkabíróképesség (felnőttkor).

A folyamatoknak két szakaszát kell megkülönböztetnünk:

- Az épülés szakaszában az *emberi munka*, vagy a természet rendet hoz létre. (Az általunk ismert legcsodálatosabb rend, az élő szervezet.)
- A leépülés szakaszában a létesítmény vagy általában a rendezett rendszer rendezetlenné válik.

3.8. A pályaromlás elméletének tapasztalati igazolása (A központi határeloszlás tételének alkalmazása.)

A pályaromlás elméletéhez egyetlen jellemzővel a szinuszvonal amplitúdójának változásával jutottunk el. De a modellt bármelyik jellemzőre felépíthettük volna, amelynél az állapot változása arányos magával az állapottal.

A geometriai pályadiagnosztikában speciálisan az x siktorzulás, az y -irányhibák és a z süppedésnek nevezett fekszinthibák szakaszonkénti maximumait, vagy a hibák statisztikai sokaságára jellemző X , Y és Z mérőszámokat, végül ezek összegét, az ún. SAD minősítőszámot használjuk.

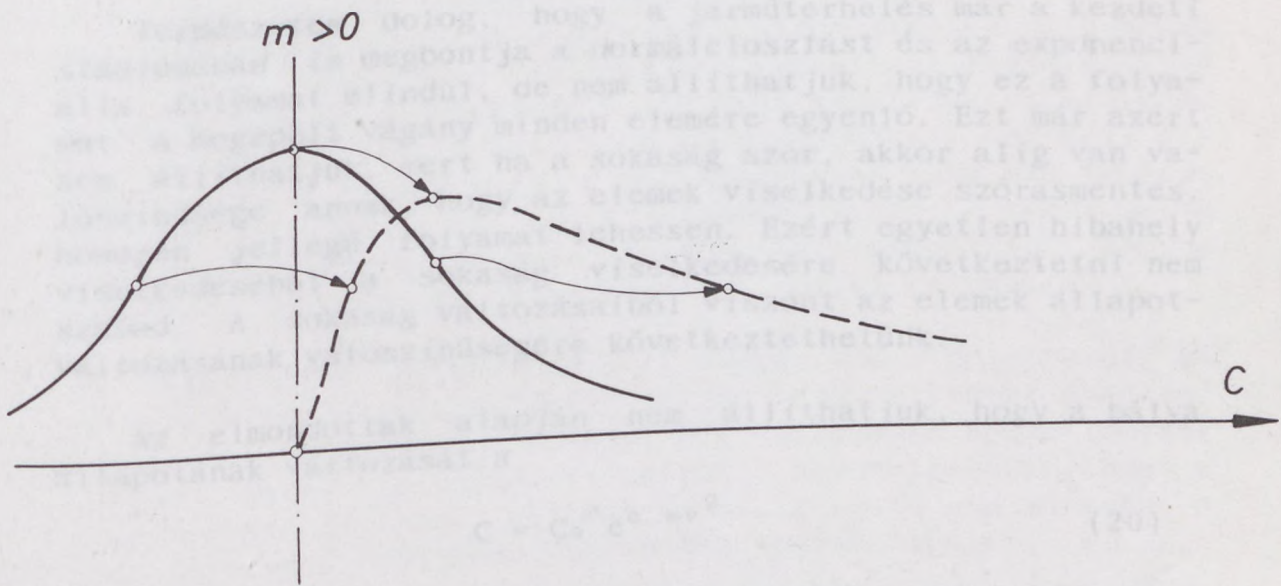
Mint hogy a modell kizárólag a sokaságnak és nem a sokaság elemeinek viselkedését írja le, a sokaság változását csakis az elemek statisztikai eloszlása mutatja ki. A geometriai jellemzők eloszlása tehát minden szűk területre vonatkozó megfigyelésnél értékeesebb információt szolgáltat.

A pályaromlás elméletét valamennyi pályajellemző mérő- és minősítőszám logaritmikus normáleloszlása objektíven bizonyítja. (A görbék számítógépi előállítására akkor nyílt lehetőség, amikor a MFK 004 fedélzeti számítógépének adatkezelésére használt eredeti szoftverét Vásárhelyi Gabornak sikerült megfejtenie és azt tetszőleges programok befogadására alkalmassá tennie.) Sebességkategóriánként az X , Y , Z és SAD értékek valóságos lognormális eloszlásgörbéit a 9.2-1,2,3. ábrák adják meg.

Valamely valószínűségi változó akkor lognormális eloszlású, ha e -alapú logaritmusa normális eloszlású. Tehát a normáleloszlás sűrűségfüggvényének ismeretében a lognormális eloszlás sűrűségfüggvényét azonnal felírhatjuk m várható érték és σ szórás mellett:

$$f(x) = \frac{1}{x \sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\ln x - m)^2}{2\sigma^2}} \quad (28)$$

Amennyiben belátjuk, hogy a létesítmény *in statum nascendi* (kezdeti) állapotára jellemző valószínűségi változók normál-eloszlásúak és ezek a használat (terhelés) folyamán exponenciálisan növekednek, a logaritmikus normáleloszlás bizonyítéka az exponenciális jellegű folyamatnak. (3.8-1. ábra)



3.8.-1. ábra

A normális eloszlás sűrűséggörbéje az állapot-hanyatlás során a lognormális eloszlás sűrűséggörbéjébe megy át.

Az első feltételt, vagyis a lognormális eloszlást a regressziószámítások eredményei egyértelművé tették.

A második feltételt, a kezdeti normáleloszlást pedig a központi határeloszlás tétele igazolja:

Egy véletlen hatás általában nagy számú, független, véletlen hatás összegeként alakul ki. A vágányfektetés minőségét is nagyon sok véletlen hatás eredményezi: az ágyazat inhomogenitása, változó tömörsége, az alépítmény egyenetlenségei, az elemek méreteltérései, a szubjektív munka minőségének változatossága... stb.

A centrális határeloszlástétel azt állítja, hogy ilyen igen általános feltételek mellett sok független valószínűségi változó összege normális eloszlású. Ez a magyarázata annak, hogy miért fordul elő a gyakorlatban a normális eloszlás olyan gyakran.

Természetes dolog, hogy a járműterhelés már a kezdeti stádiumában is megbontja a normáleloszlást és az exponenciális folyamat elindul, de nem állíthatjuk, hogy ez a folyamat a megépült vágány minden elemére egyenlő. Ezt már azért sem állíthatjuk, mert ha a sokaság szór, akkor alig van valószínűsége annak, hogy az elemek viselkedése szórásmentes, homogén jellegű folyamat lehessen. Ezért egyetlen hibahely viselkedéséből a sokaság viselkedésére következtetni nem szabad. A sokaság változásaiból viszont az elemek állapotváltozásának valószínűségére következtethetünk.

Az elmondottak alapján nem állíthatjuk, hogy a pálya állapotának változását a

$$C = C_0 e^{\alpha m v^2} \quad (20)$$

képlet determinisztikusan leírja, csupán azt, hogy ez a képlet ismereteink és tapasztalataink eddigi legjobb összefoglalása:

$$P(C) \quad (28)$$

a képlet érvényességének valószínűsége,

$$P(1 - C) \quad (29)$$

pedig ismereteink hiányának mértéke.

4. AZ ENERGIA EKVIPARTICIÓJÁNAK ÉRVÉNYESÜLÉSE

Eddig láttuk, hogy a mérhető geometriai jellemzők alakulását exponenciális folyamat írja le, amelyet a C általános állapotparaméter változásával is leírhatunk. A kérdés tehát a vasúti pályadiagnosztika szempontjából a következő: Ha X a síktorzulás, Y az irány és Z a fekszint (süppedések) mérőszáma (adott hosszra vonatkozó hibasokaság statisztikai jellemzője), akkor elég-e ezek közül szabadon választott egyetlen mérőszámból az általános állapotra következtetni, vagy mindhárom mérőszámot egyetlen közös additív vagy multiplikatív minősítőszámba kell-e sűrítanünk, hogy az állapotra vonatkozó valószínűséget kielégítően megismerhessük?

Amennyiben különböző állapotú pályák vágánymérési grafikonjait vesszük szemügyre, bármelyik jellemző rajzolatáról meg lehet különböztetni a jó pályát a rossztól és ugyanannak a pályának különböző jellemzőkre vonatkozó rajzolatai is majdnem megegyező szubjektív ítéletet sugallnak: a szórások aránya nem változik feltűnően. Más szavakkal: meg kell alapítanunk, hogy ugyanazon a pályaszakaszon soha sem tapasztalható az, hogy az egyik jellemző kiváló, a többi pedig igen gyenge pályaminőségre utaljon. Azt mondhatnánk, hogy a jellemzők igazságosan osztozkodnak a romlás folyamatából.

Tapasztalat nélkül le kell szögeznünk a következőt: ha létezne olyan jellemző, amely teljes rendezettséget mutatna, ennek nem létezhetne a másik két jellemzőre nézve romlást sürgető hatása. A fordított helyzet, nevezetesen az, hogy a rendezetlen jellemző mellett a másik kettő nem maradhat a rendezettség állapotában, ugyancsak igaznak tűnik.

Ismerjük a Maxwell által megfogalmazott törvényt, az energia ekvipartíciójának törvényét, mely szerint minden szabadságfokra egyenlő energia jut.

A műszaki alkotások vonatkozásában ezt úgy kell megfogalmaznunk, hogy a hatást kiváltó energia a szabadságfokoknak megfelelően, de az ezekhez rendelhető ellenállások ($\tau = 1 : \alpha$) fordított arányában oszlik meg. Azt mondhatnánk, hogy nagy α értéket kevesebb, kisebb α értéket több elemi ellenálláskvantum eredményez. Az ellenállások pedig csökkentik a mozgás szabadságának mértékét.

Ez azt jelentheti, hogy a különböző mérőszámok azonos jelleggel változnak, valamennyi ugyanannak az állapotnak a jellemzője. Az azonban már nem biztos, hogy a pályakeresztmetszet három szabadságfokának jellemzői mindenkor egymással is arányosan jellemzik-e a teljes keresztmetszet helyzetének várható értékét.

- Az X mérőszám, a vágánynak az x-tengely menti elfordulását;
 - az Y mérőszám az irány eltorzulását, végül
 - a Z mérőszám a fekszint rendezetlenségét
- jelenti.

Ez három szabadságfoknak megfelelő elmozdulást jelent. Több jellemzőre tehát nincs szükség, de e háromra feltétlenül.

Tehát: hiába jellemzi a három mérőszám ugyanazt az állapotot, mindháromra szükség van, ha az állapotot egyetlen minősítőszámmal megbízhatóan kívánjuk jellemezni, tehát figyelembe kell venni, hogy minden információ a bizonytalanságot csökkenti.

(Az itt elmondottak alapján kell hangoztatni, hogy a geometriai mérések mellett végzett gyorsulásmérések csökkenthetik azt a bizonytalanságot, amely az átviteli függvények természetéből adódik.)

5. A TÜNETEK KÖZÖS ALAPRA HELYEZÉSE

(Az entrópia fogalma)

A fenntartó szervek a romló pályaállapot tünetei alapján döntenek az elvégzendő munkáról. Minthogy a tünetek különbözőek, felmerül az a kérdés, hogy az általános állapotra miként utal a tünetek összessége? Hogyan lehet következtetni a nagyobb, átfogó munkák szükségességi sorrendjére a tünetek sokaságából?

E kérdés igen határozottan és mellékes kérdésektől függetlenül akkor jelentkezett élesen, amikor a mérőszámokból képzendő minősítőszám matematikai alakjáról kellett dönten.

A három szabadsági foknak megfelelő X, Y, Z mérőszám rendelkezésre állt. Így a süppedések, irány- és síktorzulás statisztikai minősítése külön-külön már megoldott volt. A túlemelés mérőszáma a síktorzulás mellett túlhatározottságot jelentett volna, hiszen az s síktorzulás és az m túlemelés között szoros matematikai kapcsolat van:

$$m = \int s \, d x \quad (30)$$

Így a síktorzulás mellett a túlemelés rendezetlensége nem nyújthat többletinformációt, hiszen az előírt túlemelés pontosan úgy nem tekinthető pályafenntartási kérdésnek, mint a körívek sugara vagy az átmeneti ívek hossza. Ezek a fogalmak építési jellemzők, csupán rendezetlenségük pályafenntartási probléma.

A geometriára jellemző minősítőszámban a nyomtáv számára nem jutott hely. Ennek indoka, hogy a nagygépes fenntartási rendben a nyomtávolságnak és ingadozásának helyreállítása nem szerepel. Ez külön munkakategóriába tartozik. (1. 7. fejezet)

Nem szerepel a minősítőszámban az aljak, kapcsolószerkek, ágyazat állapota sem.

Végülis azt kell mondani, hogy a mérőben geometriai állapotminősítésnek a pályaromlás azon fázisában van döntő jelentősége, amikor a legélesebben jellemez: a geometriai

korszakban, amely fokozatosan átmegy az anyagi korszakra, amikor már az anyag állapota a döntő. A geometria itt már csak kísérő tünet és nem lényege a megoldandó valóságos hiányosságnak.

Így fogalmazódik meg a teljes általánosítás iránti igény, a teljes indukció.

Mi az, ami minden időszakban jellemezheti a pálya állapotát?

Ez nem más, mint az eddig a vasúti pályafenntartásban teljesen ismeretlen fogalom: az entrópia, vagyis a rendezetlenség, amit a (20) képletben levezetett összefüggésnek az E-energiára megoldott alakja ad meg:

$$\alpha E = \ln \left[\frac{C}{C_0} \right] \quad (31)$$

Az entrópia itt természetesen nem azonos, de bizonyos szempontokból analóg a termodinamikában használt fogalommal. Így fogalmazható meg:

"A pálya szempontjából értelmezett entrópia a járművek mozgási energiájából visszafordíthatatlanul elvont és ennek a pálya rendezetlenségének növelésére fordított része."

Az entrópia, mint látni fogjuk, az állapotmegítélésnek és ebből fakadó gazdasági következtetéseknek igen hasznos eszköze.

Mielőtt a kérdésbe mélyebben belegondolnánk, és megítélnénk, hogy egyáltalán jogos-e az entrópia fogalmát a termodinamika fogalmköréből egy makroszkópikus mechanikai rendszerre, esetünkben a pálya-jármű rendszerére áthozni, érdemes áttekinteni a különböző meghatározások és értelmezések sokaságát. (Lásd: Függelék) Az figyelhető meg, hogy a fogalomalkotásokban sok olyan általános megállapítás található, melyek dedukció útján a pálya körére is érvényesek. Egyelőre nem lehet tudomásunk arról, hogy a műszaki élet más területén - a talajmechanika kivételével [73] - ezt a lépést megtették volna. Ennek talán az a magyarázata, hogy a vasúti pálya állapotának diagnosztikája egyértelműen a sokaság diagnosztikája, hiszen hosszú kilométerek épülnek lényegükben egyazon rövid aljköznyi hosszú elemek sokaságából, csaknem úgy, mint az anyag a molekulákból.

Tehát itt is elkülönül egymástól a rész és az egész. Elkülönül a rendszer makro- és mikroállapota, pontosan úgy, mint a termodinamikában.

A lexikonokban, enciklopédiákban leírtak nagyon tanulságosak, mégpedig azért, mert ilyen jellegű könyvekben a szerkesztésben részt vállaló fizikus a lehető legtömörebb megfogalmazásra törekszik és tudatosan keresi a fogalom definitív meghatározását.

Az olvasható meghatározásokból még nem világlik ki egyértelműen, hogy az entrópia általános fogalom-e és az sem, hogy alkalmazható-e mechanikai rendszerekre is? A definíciók között a távközlés területe szerepel mint olyan, amelyik a maga számára önállóan vezet be látszólag új entrópia fogalmat. Érdekes módon úgy, hogy az is általánosítási lehetőséget sugall: "*a bizonytalanságnak az információval csökkenő aránya*" úgyszólván mindenre vonatkoztatható. Találunk olyan megfogalmazást is, mely az információ mennyiségét az entrópiával azonosítja [74/651]. Meghökkenítő, hogy Weizsäcker leírja a következő elgondolkoztató deklarációt: "*Az energia információt.*" [75/357]

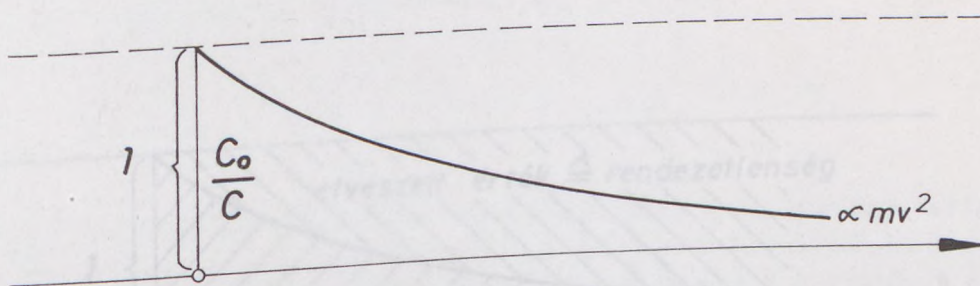
Az enciklopédikus munkák mindegyike utal arra, hogy a entrópia termodinamikai fogalom. A mai fizikusok azonban már sokszor általánosítanak: Alfred Kastler [76/258], Kurt Mendelson [77/109]. Mindkettő már egyértelműen általánosítva rögzíti le, hogy az entrópia a fizikai *rendszerek* rendezetlenségének mértéke. Tehát már nem csak a termodinamikai rendszerekre vonatkoztatják. Kurt Mendelson magyarázó példáját érdekes módon a vasút területéről veszi.

Két matematikus (Tim Poston és Ian Stewart) [78/244] már csak deduktív módon tárgyalja az entrópiát. Az itt levezetett (20) képlet helyességét alátámasztja a következő megállapításuk: "*Az egyes makroállapotok valószínűségét e^s -nel arányosak.*"

A képlet bármelyik alakja (természetesen a termodinamikához kötődés kivételével) eleget tesz azoknak a kritériumoknak, amelyeket a függelékben leírt definíciók rögzítenek. Ettől függetlenül feltétlenül mentesíteni kell a félreértések alól azt, hogy miképpen kell értelmeznünk a meghatározásokban gyakran előforduló termodinamikai valószínűség fogalmát, hiszen az azokban megnevezett statisztikai értékek

nem tesznek eleget a valószínűség azon követelményének, hogy értékük $0 \leq C \leq 1$ legyen. A (20) képletben viszont nyilvánvalóan $C > C_0 > 1$.

Valószínűségről akkor szólhatunk, ha a képlet reciprok alakjával dolgozunk (5.1. ábra):



5.1. ábra A pályaromlás reciprok alakja: Az eredeti állapot megmaradásának valószínűségét mutatja.

$$\frac{C_0}{C} = e^{-\alpha m v^2} < 1 \quad (32)$$

Ez esetben, minthogy a kezdeti C_0 állapot rendezettebb az aktuális mérésel regisztrált állapotnál, a tört már valószínűségként kezelhető:

$$0 < \frac{C_0}{C} < 1 \quad (33)$$

Ez tehát annak valószínűségét jelentheti, hogy a pálya az eredeti állapotban van-e, ill. azt, hogy mi a valószínűsége annak, hogy adott hosszon előfordul-e még a kezdeti állapot?

Egyszerűbben értelmezhető $\frac{C_0}{C}$ a pályahasználat után visszamaradó eredeti értékhányad vagy a rendezettség valószínűségéeként:

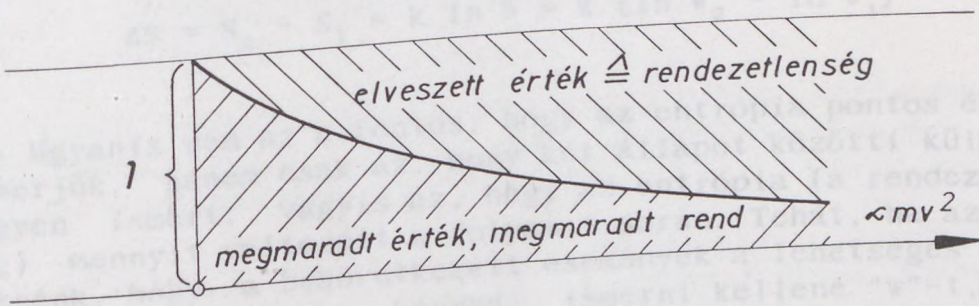
Mint ahogy

$$P(C_0) = \frac{C_0}{C} \quad (33)$$

és

$$P[1 - P(C_0)] = 1 - \frac{C_0}{C}$$

a görbe és a $C = C_0$ egyenes közötti ordinatákülönbség annak valószínűsége, hogy a pálya már nincs eredeti állapotában. Az ordinatákülönbség az elveszett eredeti értékkel, tehát az értékleírással lehet arányos. (5.2. ábra)



5.2. ábra A romlás, mint a rendezetlenség és rend valószínűsége.

A romlás, helyesebben a rendezetlenség mértékét az

$$\alpha E = \ln \frac{C}{C_0} \quad (31)$$

képletben a $\frac{C}{C_0} > 1$ érték fejezi ki. A képlet az arányossági tényezők erejéig analóg a Boltzmann összefüggéssel, amelyben S entrópia a "statisztikai valószínűség" logaritmusával egyenlő:

$$S = k \ln W \quad (32)$$

k a "Boltzmann állandó", W pedig a fizikában az elfogadott termodinamikai valószínűség elnevezést viseli, annak ellenére, hogy sokkal nagyobb egynél:

$$W = \frac{N!}{N_1! N_2! \dots N_n!} \gg 1 \quad (33)$$

mert $N = \sum N_i$: vagyis N valamennyi létező N_i mikroállapotok összegével egyenlő.

A termodinamikai valószínűség tehát nem azonos azzal a matematikai valószínűséggel, amely csak $0 \leq P \leq 1$ értékeket vehet fel. A termodinamikai (vagy statisztikai) valószínűséget ugyanis valószínűségek hányadosának kell tekinteni, mert az energiához hasonlóan az entrópia is viszonyított érték: [79/435]

$$\Delta S = S_2 - S_1 = k \ln W = k (\ln W_2 - \ln W_1) \quad (34)$$

Ugyanis nem az a fontos, hogy az entrópia pontos értékét ismerjük, hanem csak az, hogy két állapot közötti különbség legyen ismert, vagyis az, hogy az entrópia (a rendezetlenség) mennyit változott a folyamat során. Tehát, ha azt elemeznénk, hogy a bekövetkezett események a lehetséges eseményeknek mekkora a hányada, ismerni kellene "w"-t, a lehetséges események számát is. Ez esetben a valóban valószínűségekkel számolva:

$$\Delta S = k \left(\ln \frac{W_2}{w} - \ln \frac{W_1}{w} \right),$$

de:

$$\Delta S = k (\ln W_2 - \ln w - \ln W_1 + \ln w)$$

$$\Delta S = k (\ln W_2 - \ln W_1) = k \ln \frac{W_2}{W_1} \quad (35)$$

és így a lehetséges események száma kiesik az összefüggésből annak ellenére, hogy a valószínűségi értelmezés megmarad.

Nem csupán analóg, de azonos helyzetben vagyunk a pálya rendezetlenségével is, ha az állapot valószínűségét a bekövetkezett és lehetséges események hányadosával kívánjuk kifejezni. Nem ismerhetjük ill. nem fejezhetjük ki numerikusan a lehetséges események mértékét, pontosabban a mérő- és minősítőszámok legnagyobb értékét, sőt még a legnagyobb hiba-

értékeket sem. Általában C maximumát azért nem, mert **nincs erre tapasztalatunk**, és nem is szabad, hogy a tapasztalásra lehetőséget kapjunk. Az abszolút rendezetlenséget ugyanis már nem lehetne mérnöki szerkezetnek, esetünkben vágánynak tekinteni. [75/321]

Állapotnak ugyanis a szerkezetnek csak olyan tulajdonságát tekinthetjük, mely lényegén még nem változtat. A kisiklás például már változtat a pálya lényegén: ha a tömeg nem követi a pályát az nem kényszerpálya többé.

A mérnöki gyakorlatban a valószínűség matematikai fogalma annyira meggyökeresedett, hogy a valószínűség szó használatát kerülni kell, annak ellenére, hogy a mérő- és minősítőszámoknak nincs determinisztikus értékük, csak valószínűsíténekek egy létező állapotot.

Ezért azt kell mondanunk, hogy a hibák, mérőszámok, minősítőszámok stb. a romlás (vagy hanyatlás) mértékei, esetleg statisztikai mértékei.

Azonban a valószínűség jellegéről nem feledkezhetünk meg, mert a romlás folyamatát, a rendezetlenség növekedését így kell megfogalmanunk:

Az energiának kitett pálya állapotváltozása olyan irányú, hogy a kevésbé valószínű állapotból a valószínűbb állapotba jut. Ezzel tapasztalatunkat egy igen erős fizikai törvényhez kapcsoljuk és empirikus megállapításunk helyett, mely szerint "a pálya romlik" azt mondjuk: az entrópia-növekedés törvényének tesz eleget.

Az entrópiának, mint fogalomnak ismeretében most már tegyük fel ismét a kérdést, a minősítőszám képzésének módjáról.

Hosszú töprengések, nézeteltérések kísérték a minősítőszám megalkotásának módját. Kérdés volt, hogy a három mérőszámból additív

$$M_{\Sigma} = f (X + Y + Z) \quad (36)$$

minősítőszámot, vagy multiplikatív alakú

$$M_x = f (X \cdot Y \cdot Z) \quad (37)$$

minősítőszámot kell-e helyesnek tekinteni? [26]

A dilemmát az entrópia fogalma egycsapásra megoldotta, hiszen mindkét minősítőszám ugyanazt az entrópiát (rendezetlenséget) jellemzi:

$$\ln X + \ln Y + \ln Z = \ln (X \cdot Y \cdot Z) \quad (38)$$

tehát:

$$f(\alpha E) = \ln M_{\Sigma} = \ln M_x \quad (39)$$

Ezt a lépést, Baltzmann bonyolult gondolatmenetének utolsó lépését megismerve, megtenni nem volt nagy teljesítmény. A rendezetlenség mértéke tehát:

$$\alpha E = \ln M \quad (40)$$

Mint hogy αE a járművek mozgási energiájának egy viszonylag csekély hányada, a pályaelenállással azonosítható.

6. VÁGÁNYDIAGNOSZTIKAI ELEMEL A PÁLYA ANYAGI KORSZAKÁBAN

Az entrópiának mint fogalomnak bevezetése révén kidolgozható olyan minősítő szám, amelyik a négy felépítményelemet (sín, alj, kapcsolószer, ágyazat) egyetlen számmal minősíti.

Vizsgálva a pálya egységösszárára eső elemek minőségét, azt a felépítményi elemcsere indokoltságának számszerűsítésével lehetne jellemezni:

A mérőszámok a csereszükséglet százalékában adva volnának.

Így s a sín, t az aljak, k a kapcsolószer és a az ágyazat csereigényét jelentheti.

Az a kérdés, hogy az általános állapotot ennek a négy mérőszámnak szorzata, vagy összege mérje, máris megoldódott azzal, hogy az állapotot entrópiának fogjuk fel.

$$C_{\text{anyag}} = \ln s + \ln t + \ln k + \ln a \quad (41)$$

$$= \ln (s \cdot t \cdot k \cdot a) \quad (42)$$

Mint hogy, az anyagi korszakban nem valószínű, hogy az értékelte hosszban egyik alkotóelem mérőszáma zérus legyen, a képlet elméletileg nem lehet hamis.

A sínek mérőszámanak a lépcsős síngazdálkodáshoz kell alkalmazkodnia.

Az első fekvési helyen e kérdés egyértelmű, hiszen itt az átengedhető burttó egytonnamennyiségét a hálózati terheléselosztás meghatározza. A második fekvési helynél a 100%-ot a fáradás megengedhető mértéke jelentse. Abban az esetben, ha a lépcsős síngazdálkodás során az első fekvési helyről felszabaduló használható sínanyag a további fekvési helyek anyagszükségletét biztosítja, a fáradás, tehát a

100 % (vagyis $\ln 100 = 4,6\dots$) nem következhet be. Az állapotot tehát az ésszerű szinguláris betartásának mértéke fogja jelenteni. [54] [80] [48]

Az aljak állapotával, csereszükségletével adott a t mérszám is. Hasonlóan a kapcsolószerkezetek állapota is.

Az ágyazat tekintetében a rostálás ill. ágyazatcsere szükségességét az jelzi, ha a vágányszabályozással a kívánt és tapasztalat szerint már megszokott minőség már nem érhető el. A teljes indokoltságot a tapasztalat fogja eldönteni és számszerűsíteni, az α érték kedvezőtlen változása alapján.

A kapcsolószerkezetek állapota, mint vágánygondozással összekötött fogalom, nem a pályát, hanem a fenntartó szervet kell, hogy minősítse.

Az anyagi állapot diagnosztikájának módszere részletes kidolgozás alatt áll. A kérdés ennél bővebb részletezése túlhaladná a dolgozat kitűzött feladatát.

7. A NYOMTÁV MINŐSÍTÉSÉNEK KÉRDÉSE

A nyomtávról a mérővonati mérések alapján, számítógép útján külön mérőszám készül.

A nyomtávot nem célszerű a geometriai jellemzők közé sorolni, mert egyértelműen az anyag állapotára jellemző. Nem is a mérőszám vagy az egyedi nyomtávhiba pillanatnyi értéke, hanem azoknak változása a döntő. Ez minden esetben az anyagi állapot romlására utal.

A nyomtávváltozást a három geometriai jellemzőtől eltérően nem csupán információt hordozó jellegénél fogva kell fontosnak tartani, hanem azért, mert parancsolóan előírja a szubjektív megítélést és intézkedést is. Ezért "imperatív" jellemzőnek kell tekinteni.

A nyomtávhibák változásának oknyomozását a pályafelügyeleti szubjektív munkák közé kell sorolni.

8. A LOKÁLIS GEOMETRIAI HIBÁK MÉRETHATÁR ELMÉLETE

Mint láttuk, a pálya romlása visszafordíthatatlan és szükségszerű folyamat, amelyet a járművek mozgási energiája táplál.

A pályafenntartási tevékenységgel a pálya állapotát egy korábbi időpontbani értékre lehet visszaállítani. Szükséges tehát, hogy létezzenek az intézkedés időpontját és a munka elvárható minőségét jellemző mérethatárok.

Az intézkedés természetesen két irányú lehet, hiszen a

$$C = C_0 e^{\alpha m v^2} \quad (20)$$

képletben előforduló változók közül a pályafenntartó csupán C_0 és v értékére lehet befolyással.

A pályafenntartási munkarévén csökkenhet a rendezetlenség, úgy hogy megközelítse az eredeti C_0 állapotot. Amennyiben pedig a szükséges munka elvégzésére nincs lehetőség, a v sebesség csökkentésével mérsékelhető a járműtől elvont és rontásra fordítható energia.

Az áthaladó járművek m össztömegét a pályafenntartás nem csökkentheti, és α értékét sem mérsékelheti a pálya szerkezetének, méretezettségének megváltoztatása nélkül, hiszen ez a pálya felújítását vagy fejlesztését jelentené.

Mint ahogy a geometria a romlási folyamat kezdeti időszakában is könnyen mérhető, reveláns jellemző és mint ahogy a pályafenntartási tevékenység zömmel erre irányul, nyilvánvaló, hogy a geometriai mérethatárok megvonása minden vasútnál súlyponti kérdés.

A MÁV-nál 1989-ig érvényben volt mérethatárrendszer megváltoztatását a következők indokolták:

- A határok verbális, imperatív megfogalmazása sem az operatív tevékenység, sem a jogi vonatkozások szempontjából nem volt megfontolt.

- A megszabott határok és engedélyezhető sebességek összefüggést a hiba által keltett gyorsulás állandósága jelentette. E kritériumoknak csupán 60 és 110 km/h sebességértékek között lehetett eleget tenni: 60 km/h sebesség alatt már feleslegesen laza, 110 km/h sebesség felett pedig egyáltalán nem, vagy csak nagy nehézségek árán megvalósítható geometriai határértékek adódtak.

- Az iránytűrések esetében az ívmagasság és a mérési bázis között, a bázistól (húrhossztól) független, nem létező determinisztikus kapcsolatot tételeztek fel.

E három hiányosságot kiküszöbölő új racionális mérethatár-rendszert kellett alkotni.

8.1. A mérethatárok verbális kategorizálása

A "mérethatár" kifejezés alkalmazásával egyszer s mindenkorra mellőzni kellett a "tűrés" szót, mely jogi értelemben a felelősségrevonás határát jelentette, nem véve tudomásul azt, hogy a méret valószínűségi változó.

Az építési és fenntartási mérethatárkategórián kívül be kellett vezetni az intézkedéseket indokló harmadik mérethatár fogalmat is, mely nem a balesetveszélyt választja el a biztonságot garantáló értékektől, hanem a szóráson kívülre eső értékeket határolja el a még normálisnak tekinthető hiányosságoktól.

A mérethatár	
jele, megnevezése	értelmezése
A Építési mérethatár	A pályának azok a maximális méreteltérései, amelyek új anyagból készült vágány átadásánál elvárhatóak (megengedhetőek).
B fenntartási mérethatár	A pályának azon méreteltérései, amelyek elérésére a fenntartási munkák, a tervszerű megelőző karbantartás és a használt anyaggal történő felújítás során törekedni kell. A határokat meghaladó méretek a munkát minősítik és lehetővé teszik a romlási folyamat figyelemmel kísérését. A karbantartás szükségességének mérlegelését szolgálják.
C Soron kívüli intézkedést kívánó mérethatár	A közvetlen intézkedést igénylő hibák alsó határa, melynél nagyobb hiba esetén minden helyi körülmény és minden jellemző együttes mérlegelése mellett a dokumentált intézkedés a következő lehet: <ul style="list-style-type: none"> - fokozott figyelemmel kísérés - soron kívüli beavatkozás - megfelelő mértékű sebességkorlátozás.

A szinguláris helyi hibákon kívül ezen elvekre épülnek a mérő- és minősítőszámok B és C jelű határértékei is.

8.2. A mérethatárrendszer és a sebesség összefüggése

A tapasztalat azt mutatja, hogy a C pályaállapot és az engedélyezhető v sebesség között szoros kapcsolat létezik. A pálya geometriai hibája és a sebesség két kontravariáns változó, melyek között a kapcsolatot valaminő egyszerű, gyakorlatias, ugyanakkor elméletileg megalapozott függvénnyel kell leírni. A feltételezett függvény

$$\hat{C} = \frac{\text{const}}{v^n} \quad (43)$$

ahol \hat{C} a geometriai állapotjellemező felső mérethatára, n pedig a sebesség egész számú hatványkitevője. Abban a kikötésben, hogy n csak egész szám lehet, szerepet játszik az a tény, hogy az összefüggés nyilvánvalóan csak valószínűségi összefüggés lehet, így determinisztikus meghatározása kétes és hiábavaló volna.

A kérdés tehát, hogy az egészszámú pozitív n -ek közül melyik valószínűbb:

Elméleti megfontolások eredménye az $n = 1$ hipotézist erősítette meg. A kutató számára ritkán adódó öröm, mikor a valóság igent mond elméletére: munkatársaim odaadón többezer kilométer vonalat feldolgozva nagymintákat gyűjtöttek és dolgoztak fel. Ezek gyakorlatilag is igazolták a hipotézist, sőt a romlás exponenciális folyamatát is, mely addig csak elméleti alapon létezhetett.

A romlási folyamatra levezetett összefüggés (20) alapján jogosan feltehető, hogy a geometriai hibák statisztikusan exponenciális változását a járművek mozgási energiájának elveszett része okozza. Tudjuk, hogy ez az energia mint disszipatív mennyiség szétszóródik, a súrlódások révén hővé alakul, az alkatrészeket koptatja, az ágyazatot tördeli, de egy része a pálya geometriai helyzetét maradandóan módosítja. Ez a maradandó alakváltozás a geometriai hiba. - Kérdés az, hogy ennek az energiahányadnak meghatározására hol van lehetőség? A kérdés azért fontos, mert az energia több nehezen mérhető és nehezen számítható alakban jelenik meg: mozgási energia formájában, a rugalmas alakváltozásokban mint helyzeti energia, de legnagyobb részt a súrlódások során meghatározhatatlan mennyiségben elvész. - Az elveszett energiát a vontató járműnek folyamatosan pótolnia kell, hogy a pályairányú v_x sebesség állandósága biztosított legyen.

A szinusz-modell itt is használhatónak bizonyult. (3.1-1 ábra) Segítségével közvetlenül meghatározható az inflexióspontban ébredő \hat{v}_y sebességkomponens, mely egyértelműen a többletenergiát jellemzi, hiszen a szinuszvonalon haladó tömegpont azonos időtartam alatt hosszabb út megtételére kényszerül, mint a kezdő és végpont közötti egyenes.

A pályamodell:

$$y = A \sin \frac{2\pi}{L} x \quad (3)$$

A sebességmodell:

$$\frac{dy}{dt} = \frac{dy}{dx} \frac{dx}{dt} = \frac{dy}{dx} v_x$$
$$v_y = \frac{dy}{dt} = A v_x \frac{2\pi}{L} \cos \frac{2\pi}{L} x \quad (7)$$

A legnagyobb y kitérés $x = L/4$ helyen:

$$\hat{y} = A \quad (44)$$

A legnagyobb v_y sebesség $x = 0$ és $x = L/2$ helyen:

$$|\hat{v}_y| = A v_x \frac{2\pi}{L} \quad (45)$$

Mint már kifejtettük az L hullámhossz a modell kezdő és végpontja között nem változhat, így

$$\hat{v}_y \sim A v_x \quad (46)$$

Az $x = 0$ és $x = L/2$ helyen, ahol a v_y maximum, az y irányú gyorsulás zérus. Ez azt jelenti, hogy $F = m_y \cdot$ erő nem létezik, tehát nem létezik mechanikai munkavégzés sem, tehát energiaátalakulás sincs. Ugyanakkor a mozgási energia \hat{v}_y révén maximális és minden más energiafajtától függetlenül önmagában van jelen és magába tömöríti a teljes energia-többletet, ami a vágánytorzítás szempontjából szerephez juthat.

\hat{v}_y értéke tehát alkalmas arra, hogy belőle a pálya deformálására alkalmas E_d energia meghatározható legyen:

$$\alpha \hat{E} = E_d = \frac{1}{2} m \hat{v}_y^2 \quad (47)$$

Felhasználva az imént nyert arányosságot, az

$$\hat{E}_d \sim \frac{1}{2} m (A v_x)^2 \quad (48)$$

összefüggés adódik. Ha azt kívánjuk, hogy a pályaromlást okozó energia (munkavégzőképesség) ne növekedhessen egy reálisan tűrhető határ fölé, az E_α energia értékét kell limeszen tartani. Tehát m állandósága miatt

$$\hat{E}_d \sim (A v_x)^2 = \text{const} \quad (49)$$

Ezzel igaz

$$\sqrt{\hat{E}_d} \sim A v_x = \text{const}$$

is. Végeredményben azt mondhatjuk, hogy a hibának tekintett A amplitúdó és a v_x sebesség szorzatának állandónak kell lennie. A gondolatmenet alapján tehát a (43) összefüggésben szereplő n kitevő nagy valószínűséggel az egység. Tehát:

$$A v_x = \text{const} \quad (50)$$

8.3. Az elmélet szembeesítése a gyakorlattal

A hibával terhelt pálya rendezetlensége által elvont energiának természetesen van olyan része is, amely visszahat a jármű rendszerére és ezt gerjeszti rendezetlen mozgásokra. Így a jármű belsejében is elmozdulnak a tömegek, mechanikai munkavégzés történik, az energiának egy másik hányada pedig hővé alakul a lengéscsillapítóban és egyéb súrlódások révén.

A pálya és a jármű tehát két különböző energiaelvonó rendszert, "szabadságfokcsoportot" alkot, melyekre az elvont energiából az ekvipartíció törvénye szerint az ellenállások nagyságának függvényében jut. Így nincs ok feltételezni, hogy nem csak a pályára, hanem a járműre és a benne utazóra is a pályaállapottal arányosan hat a disszipatív energia. Ez a hatás egyrészt a jármű alkatrészeit, elemeit fárasztja, másrészt kényelmetlenné teszi az utazást.

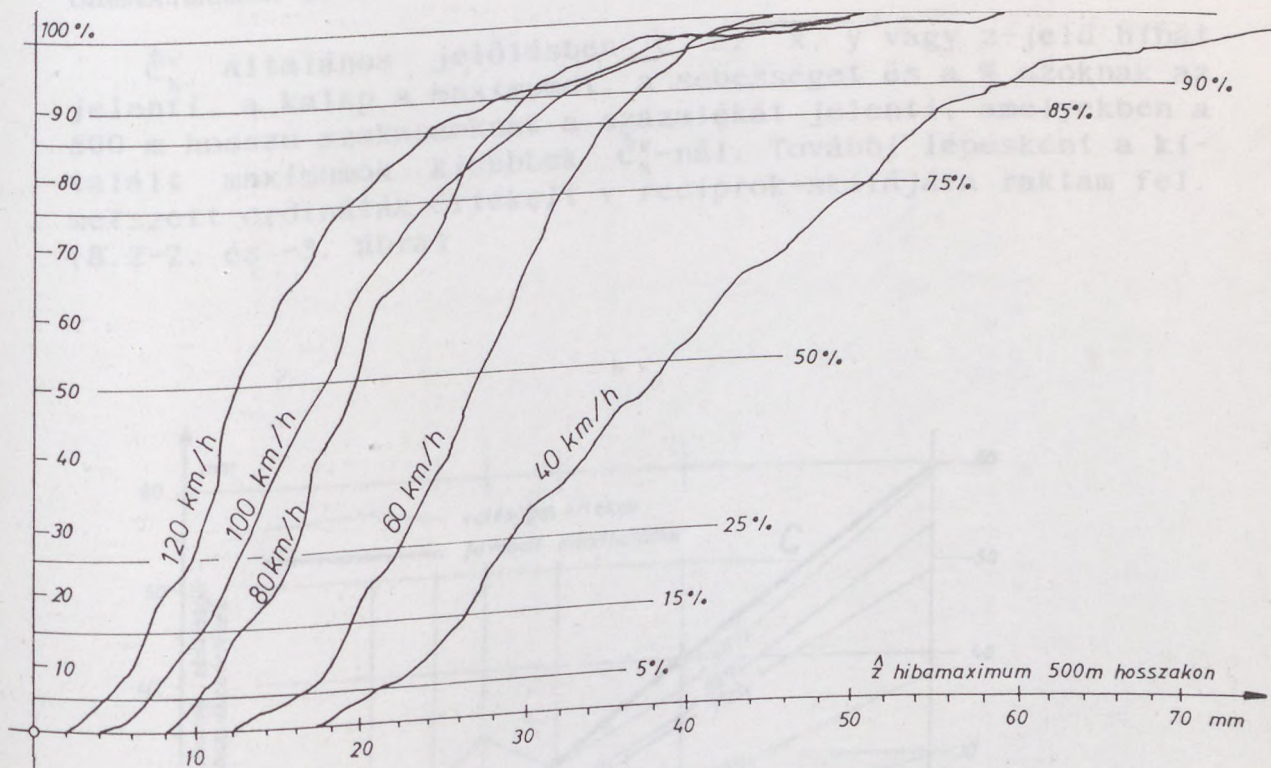
A mozdonymeneteket tartó pályafenntartó szakemberben hosszú szubjektív és nem kevésbé az idősebbektől átvett tapasztalatok alapján kialakul bizonyos készség, gyakorlattal szerzett képesség arra, hogy határt vonjon a tűrhető és a már intézkedést sürgető rendellenes járműmozgások közé. Az emberi tapasztalatok és a megítélt vonalrészek nagy száma szükségyszerűen elvezet odáig, hogy a vonalállapot és az engedélyezett sebességek között statisztikailag meghatározható valószínűségi kapcsolat alakuljon ki. Tehát a nagy számok törvénye alapján és nagy általánosságban a vonalak állapota bizonyos valószínűséggel meg kell feleljen az engedélyezett sebességnek. E szubjektív ítélet, az objektív valóság és az elméletileg nyert (50) összefüggésnek igazolásához a 40, 60, 80, 100 és 120 km/h sebességre alkalmasnak ítélt és erre engedélyezett vonalak tényleges állapotát kellett egymással összehasonlítani. Az ilyen jellegű feladatra csakis a statisztikai elemzés lehet alkalmas.

Minthogy a cél a mérethatárok elemzése volt, 500 m hosszú szakaszokban talált, irány (y), fekszint (z) és siktorzulás (x) maximális hibaértékeit kellett kigyűjteni.

Ezek eloszlása igen szoros korrelációt mutatott a logaritmikus normáleloszlással. (Példaképpen 1. 8.2-1. ábrát) Ezt az exponenciális romlási folyamat gyakorlati igazolásának lehet tekinteni, mint ahogyan azt a 8.3. fejezetben már tárgyaltuk.

A sebességcsoportonként nyert hibaeloszlásgörbékkel egyetemben közös ábrára fektetve, már elemezhetővé vált a sebesség és pálya állapoi között fennálló empirikus függvénykapcsolat.

Az eloszlásgörbék ordinátáin a \bar{x} -értékek olvashatók le. Különböző százalékoknál húzott abszcissza-párhuzamos egyenesek az eloszlásgörbékkel rendre kimetszik a megfelelő hibamaximumok értékét.

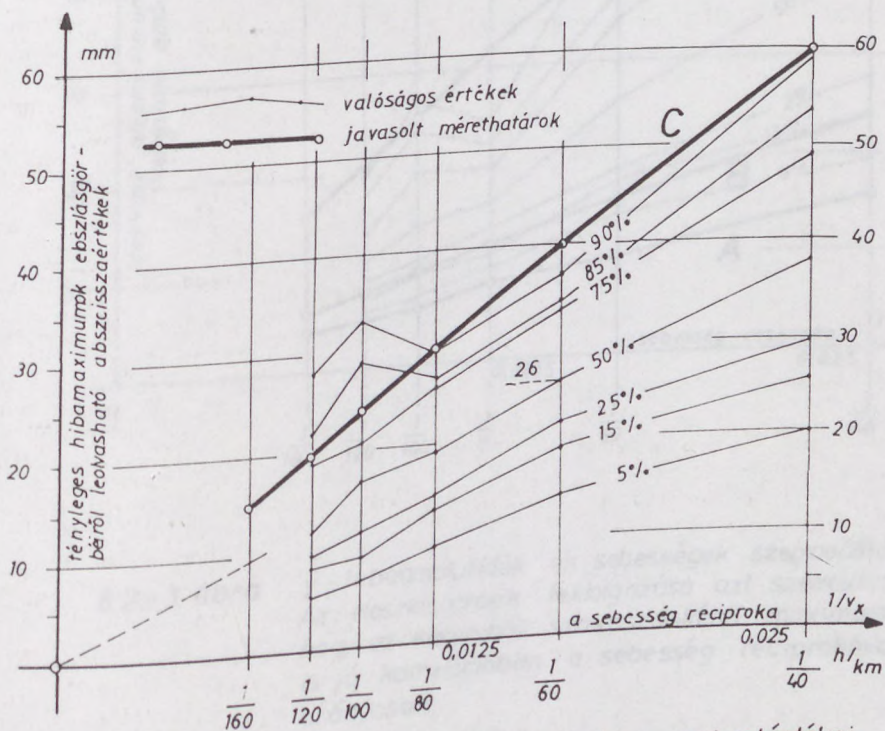


8.2.-1. ábra 500m hosszú szakaszonként mért maximális (z) fekszint-hibák eloszlásgörbéi különböző sebességekre engedélyezett vonalakon. Az eloszlásgörbékről leolvasható, hogy sebességcsoportonként az abszcisszán leolvasható hibánál az 500 m hosszú pályaszakaszok hány százalékában nincs nagyobb hiba.

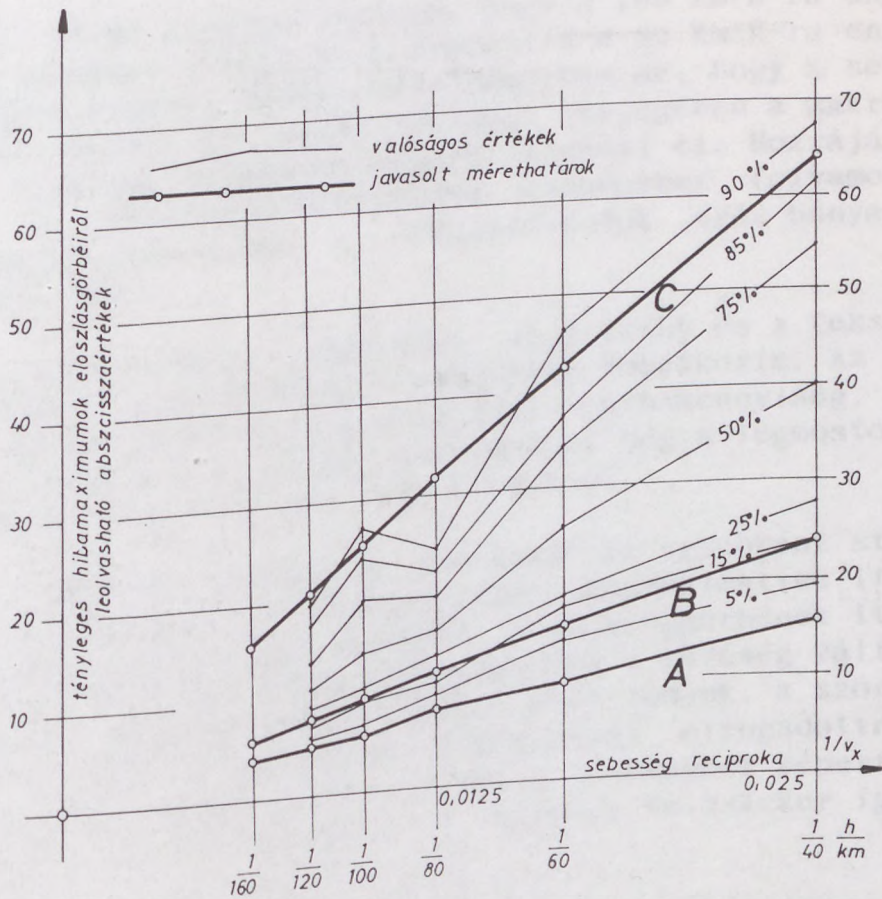
A sebességcsoportonként nyert hibaeloszlásgörbéket egyetlen közös ábrára felrakva, már elemezhetővé vált a sebesség és pálya állapot között fennálló empirikus függvénykapcsolat.

Az eloszlásgörbék ordinátáin a %-értékek olvashatók le. Különböző százalékoknál húzott abszcissa-párhuzamos egyenesek az eloszlásgörbékől rendre kimetszik a megfelelő hibamaximumok értékét.

$\hat{C}_v\%$ általános jelölésben C az x, y vagy z-jelű hibát jelenti, a kalap a maximumot, a sebességet és a % azoknak az 500 m hosszú szakaszoknak a százalékát jelenti, amelyekben a talált maximumok kisebbek $\hat{C}_v\%$ -nál. További lépésként a kimetszett ordináták értékeit v reciprok-skálájára raktam fel. (8.2-2. és -3. ábra)



8.2.-2. ábra Hibaamplitudók és sebességek reciprokértékeinek szembeállításának feldolgozása azt szemlélteti, hogy a fekszinthibák szakaszonkénti maximumai jó korrelációban a sebesség reciprokával arányosak.



8.2.-3. ábra \hat{y} -hibaamplitúdók és sebességek szembeállítása. Az eloszlásgörbék feldolgozása azt szemlélteti, hogy az irányhibák szakaszonkénti maximumai is jó korrelációban a sebesség reciprokával arányosak.

A $C = f(1/v)$ függvények kiegyenlítővonalai az origón áthaladó egyenesek. Ezek alapján készültek a geometriai mérethatárok. A $vC = \text{constans}$ összefüggés, vagyis a (43) képletben $n = 1$ legnagyobb valószínűsége az összes pozitív egész számok között gyakorlatilag is bebizonyosodott. A statisztikai feldolgozás tehát igazolta az elméleti hipotézist.

Az ábrák alapján feltűnő, hogy a 100 km/h-ra engedélyezett vonalak állapota kedvezőtlen a 80 km/h-ra engedélyezettékhöz képest. Ennek oka elsősorban az, hogy a sebességek engedélyezését és megállapítását lényegében a makrogeometria, esetleg néhány kissugarú ív dönti el. Hozzájárul még, hogy a sebességcsökkentések eszközeihez folyamodni nem dicséretes dolog, még a vonalállapotok erős hanyatlásának ellenére sem.

A mérethatárok rögzítése az y irány és z fekszint tekintetében a 85 % feletti értékekre vonatkozik. Az itt megvont határ feletti 15 % az a reális hibamennyiség, amelynek átdolgozására az anyagi lehetőséget még a legmostohább körülmények között is meg kell teremteni.

A 85 %-nál megvont C -jelű határnak egyébként statisztikai jelentőséget is tulajdonítunk: approximativé itt adódik a normáleloszlás szórásértéke. A sűrűséggörbének itt van az inflexiós pontja, itt a legmeredekebb a sűrűség változásának mértékét jelentő érintő iránya. Mint tudjuk, a szóráson belüli értékek a normális eloszlásnál elfogadottnak, meg szokottnak tekinthetők, tehát a sokasághoz képest még nem jeleznek rendelleneséget. E kérdést Weizsäcker így fogalmazza:

"Ha a normával való pontos egyezést egészségnak, és minden eltérést betegségnek neveznénk, úgy egyetlen egészséges egyed sem léteznék. Ha például mérhető mennyiség a paraméter, úgy a paraméter empirikus értékének előnye az optimális érték környékén valószínűleg csupán az optimális értéktől való eltérés négyzetével lesz fordítottan arányos. Röviden megfogalmazva: az egészséges norma körül szórás még egyáltalán nem betegség." [75/319]

Amikor mérethatárrendszerünk helyességét kétségbevonják, rendszerint az hangzik el, hogy a meglévő állapot konzerválására irányul. Tehát mintha lefényképeznék valamit és

azt fogadnánk el maradandó tény gyanánt. Ez tévedés. A mérethatárrendszer a cselekvésnek ad helyes irányt a valósághoz alkalmazott olyan elmélettel, mely képes a folyamatokat meghatározott keretek között tartani. Tehát nem úgy illik a körülményekhez, mint a fénykép a tárgyhoz, hanem mint a kulcs a zárhoz. Eszköz ahhoz, hogy a felesleges ráfordításokat elkerülhessük és a munkát a legsürgősebbre koncentráljuk:

Minthogy a mérethatárok nagy átlag alapján készültek, fennáll a valószínűsége annak, hogy az egész hálózatra a pályafenntartási munka idővel a leggyengébb állapotú, a szóráson kívüli 15 %-ra fog összpontosulni.

8.4. A síktorzulás mint külön elbírálást igénylő kivétel

A síktorzulás, mint a futástechnikából ismeretes, a kerek-tehermentesülés és ezzel a kisiklásveszély mértéke is. Az is tény, hogy a síktorzulásra visszavezethető kisiklások alacsony sebességnél gyakoribbak, valószínűbbek. Ezzel szemben nagyobb sebességnél a jármű súlypontjában támadó centrifugális és gravitációs erők eredőjének sínirányú komponense a külső sínszálon futó, esetleg tehermentesülésre hajlamos kereket is a sínhez szorítja és így megnehezíti a felkészését. Másrészt alacsony sebességnél a kerékerő nem növekedhet, hiszen nincs mérvadó centrifugális erő, viszont a kerék és a sín közötti súrlódási tényező nagyobb, és ezzel a siklás veszélye erőteljesen megnő. [13] [42] [57]

Érthető tehát, hogy a síktorzulás esetében a kisebb sebességek tartományában relative szigorúbb határokat kellett megállapítani. - Nagy sebességeknél a síktorzulásnál is az irány és fekszintnél bevált szempontok jutnak érvényre.

8.5. A mérethatárok és mérési rendszerek kapcsolata

A mérethatár-táblázatok annak tudatában készültek, hogy a geometriai pályaállapot diagnosztizálása a 004 psz. mérőkocsival történik. Ennek mérőrendszerét az jellemzi, hogy az y vízszintes értelmű ívmagasság 10 m hosszú bázis (húr) közepén emelt magasság, a függőleges értelmű süppedés (fekszint) bázisa 11,8 m, és az ívmagasság mérése az egyik

végponttól 5 m távolságban történik. Végül a harmadik jellemző, a siktorzulás 6 m távolságban mért túlemeléskülönbséggel azonos. (2.1. ábra)

Más mérési rendszer, más mérési bázis esetén a statisztikai elemzést újra el kell végezni, mert a megállapított mérethatárok nem vihetők át tetszőleges másik rendszerre, sőt nem is számíthatók egymásba geometriai alapon át.

Az 1989-ig érvényben lévő, D54 számú *Műszaki Adatokban* szereplő mérethatárok szerkesztői az előbbi szempontokat figyelmen kívül hagyták. Pl.: a 10 m hosszú húrra emelt ívmagasságértékek megengedhető Δh_{10} értékeit egyszerűen úgy rögzítették, hogy a 20 m húr hosszra megadott eltéréseket gépiesen osztották négygel, mintha az eltérések egyenes arányban állnának az R ívsugárból számítható értékekkel. A valóságban nem létező determinisztikus összefüggés a következő sematikus számítás eredményeképpen adódott és kerülhetett az előírások közé:

Ha $l = 20$ m hosszú húron h_{20} a számított ívmagasság, és azonos R körívsugár esetében az $l/2 = 10$ m hosszú húron mért ívmagasság h_{10} , akkor a kettő közötti arány:

$$\frac{l^2 \frac{1}{2R}}{\left(\frac{l}{2}\right)^2 \frac{1}{2R}} = \frac{h_{20}}{h_{10}} = \frac{1}{4} \quad (51)$$

Ez a viszony igaz az ívmagasságok átlagára, de már nem állhat fenn az eltérések tényleges értékeire.

A valóságban az arány azért nem áll fenn, mert nem egyszerű determinisztikus kapcsolattal, hanem sok tényezőtől függő véletlen valószínűségi összefüggéssel kell számolnunk. Természetes dolog, hogy rögzített, egymástól állandó Δs távolságra lévő $n \dots n + k$ számú ívpontok esetében a $2\Delta s = \frac{l}{2}$ hosszú húr közepén emelt h és az l hosszú húron emelt H jelű ívmagasságok közötti kapcsolat minden n és $n + 4$ pont között determinisztikus:

$$H_n = 2 h_n + h_{(n-1)} + h_{(n+1)} \quad (52)$$

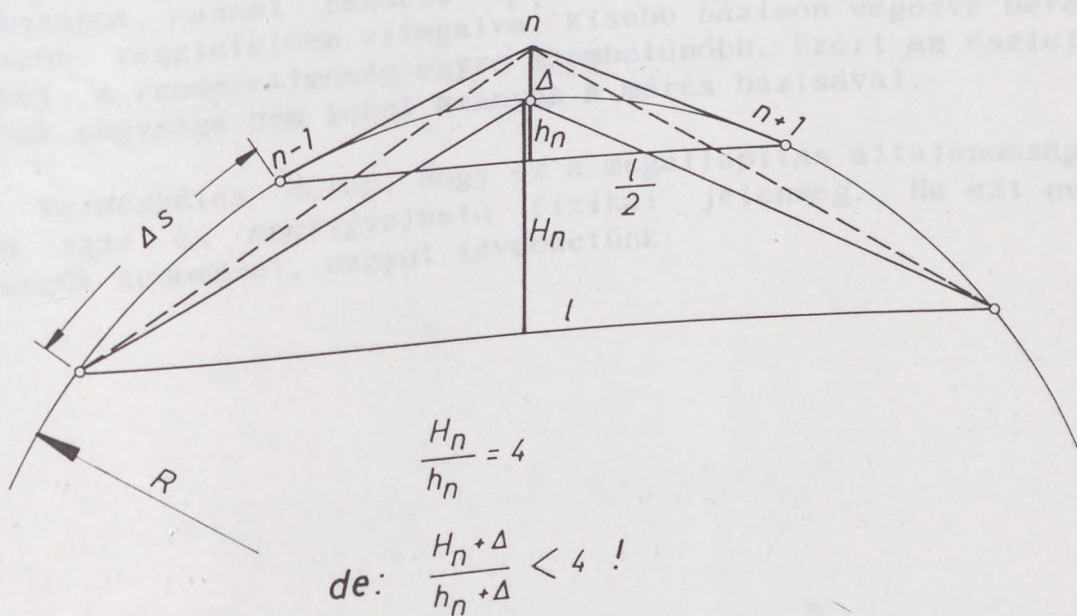
és igaz a félhúrnyi távolságokban mért ölelkező ívmagasságok esetén a

$$2 \Sigma h = \Sigma H \quad (53)$$

összefüggés is, de ha $h_n = h_{n-1}$ nem teljesül, sőt véletlenül szerűen változik, akkor a H és h értékek szórása nem lehet arányos a $H : h$ viszonytal, mert a

$$\frac{\Delta H}{\Delta h} \quad (54)$$

viszony is valószínűségi változó lesz. (8.5-1. ábra)



8.5.-1. ábra A mérethatárok aránya nem egyezik meg a különböző húrösszakon mért ívmagasságok arányával.

Minthogy még előfordulhat, hogy kézi mérésekkel 20 m hosszú húron mért ívmagasságok képezzék az irány ellenőrzés alapját, statisztikai elemzést kellett végezni:

Az adódott, hogy a névleges eltérések közötti szórás igen változó a felépítmény jellegétől és az ívsugar értékétől függően.

A nagy átlagra vonatkozó valószínűség: [51]

$$P \left(\frac{\Delta h_{10}}{\Delta h_{20}} \right) = 0,6 \dots 0,7 \quad (55)$$

Az eredmény konkrét értékére magyarázatot nem találni. Ezzel szemben nyilvánvaló, hogy minél távolabbról szemlélünk egy sokaságot, annál rendezettebbnek tűnik. Közelebbről, vagy kisebb részleteiben vizsgálva, kisebb bázison végezve méréseket, a rendezetlenség egyre szembetűnőbb. Ezért az észlelt hibák nagysága nem lehet arányos a mérés bázisával.

Természetes dolog, hogy ez a megállapítás általánosságban igaz és megfigyelhető fizikai jelenség. Ha ezt nem vesszük tudomásul, nagyot tévedhetünk.

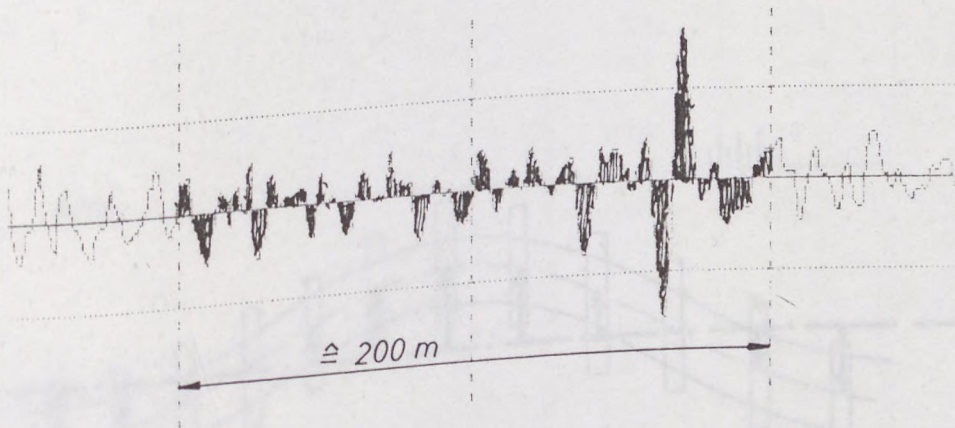
9. AZ ÁLTALÁNOS VONALÁLLAPOT MEGÍTÉLÉSE

9.1. A statisztikai állapotjellemzők eloszlásának jellege

Az eddigiekben a mérethatárok megvonásánál az \hat{x} , \hat{y} és \hat{z} hibamaximumokból indultunk ki. A hibamaximumok az operatív munkát végző szerveknek adnak útmutatást.

A magasabb szintű szerveknek, egészen a legfelső irányítási elvi szintig, más információra van szükségük: a hálózat, vagy egységeinek viselkedését jellemző információkra. Itt tehát a részletekre vonatkozó jellemzőket már nem tartalmazó, de azokat ésszerűen magukba foglaló ún. mérőszámokra van szükség.

A mérőszámok a MÁV hálózatán 500 m-enként határolt területet jellemzik. (9.1-1. ábra)



9.1-1. ábra A besötétített felület azonos 200 m hosszra vonatkoztatott SAD értékekkel.

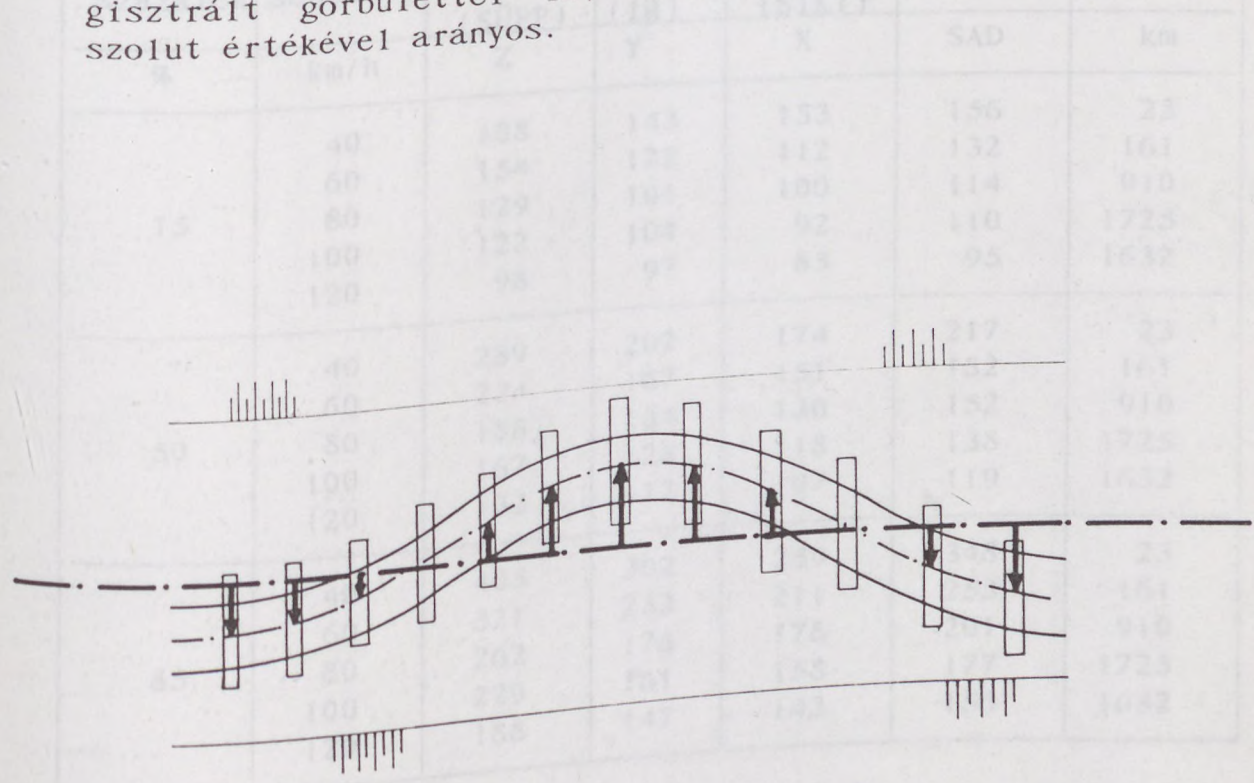
Mint hogy a szinuszcsoport alatti terület integrálással könnyen kiszámítható:

$$\int_0^L A \sin \frac{\pi}{L} x dx = \frac{AL}{\pi} \quad (56)$$

tehát arányos az amplitúdóval, a mérőszámoknak is, a hiba-maximumoknál megállapítottakkal analóg módon, lineáris függvényei kell legyenek a sebesség reciprokanak.

Ezt a várt eredményt az eloszlásgörbék a síktorzulás és az irány tekintetében egyértelműen igazolták.

Szemlélet alapján is könnyen belátható, hogy a görbe által bezárt terület a pályát torzító munkával arányos: a (9.1-2.) ábrán az aljak által a torzulás közben súrolt utak összege nyilvánvalóan a torzult nyomvonal és az egyenes által bezárt területtel csak arányos lehet. Így arányos a regisztrált görbülettel is, amely viszont a szinuszcsoport abszolút értékével arányos.



9.1 - 2. ábra

9.2. A mérő- és minősítőszámok standardizálása

Az 1991/1 félévi gépi vágánymérések gépi vágánymérések 500 m-enkénti $X\%$, $Y\%$ és $Z\%$ mérőszámok eloszlásgörbéi készen álltak. Ezeket jellemzők és sebességcsoportonként a 9.2-1,2,3. ábrák szemléltetik.

Az eloszlásgörbék 15, 50 és 85 %-ra vonatkozó abszcisszaértékei Numics 2200 rendszerű digitalizátor alkalmazásával adódtak. Az eredményeket a 9.I. táblázat tartalmazza. E táblázat közel 36 000 adat feldolgozásával született meg.

1991 első félévi mérések eredménye a MÁV
hézagnélküli hálózaton

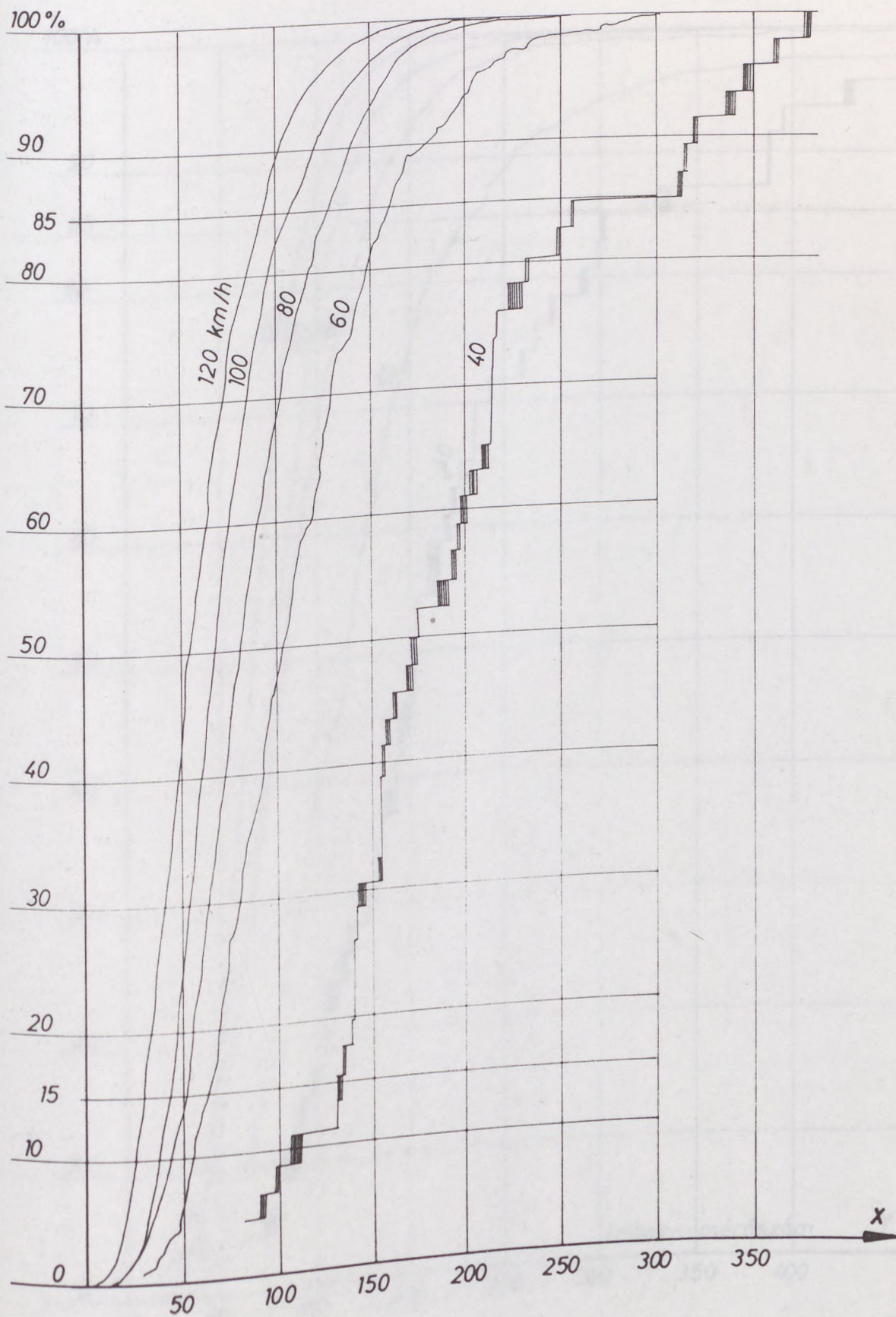
9.I. táblázat

Százalék	Sebesség	Mérőszámok			Minősítő szám	Súlyozás (Értékelt hossz)
		Fekszint (SÜPP)	Irány (IR)	Sík- torzulás (SÍKT)		
%	km/h	Z	Y	X	SAD	km
15	40	188	143	133	156	23
	60	154	122	112	132	161
	80	129	101	100	114	910
	100	122	104	92	110	1725
	120	98	97	83	95	1632
50	40	289	202	174	217	23
	60	224	167	151	182	161
	80	188	134	130	152	910
	100	167	128	118	138	1725
	120	132	117	107	119	1632
85	40	405	302	259	348	23
	60	321	233	211	253	161
	80	262	178	178	201	910
	100	229	161	158	177	1725
	120	188	147	143	156	1632

A táblázat adatait $C\% = f(1/v)$ függvényében felrakva, kapjuk a lineárisan kiegyenlítő értékeket.

Siktorzulás x mérőszámok eloszlásai

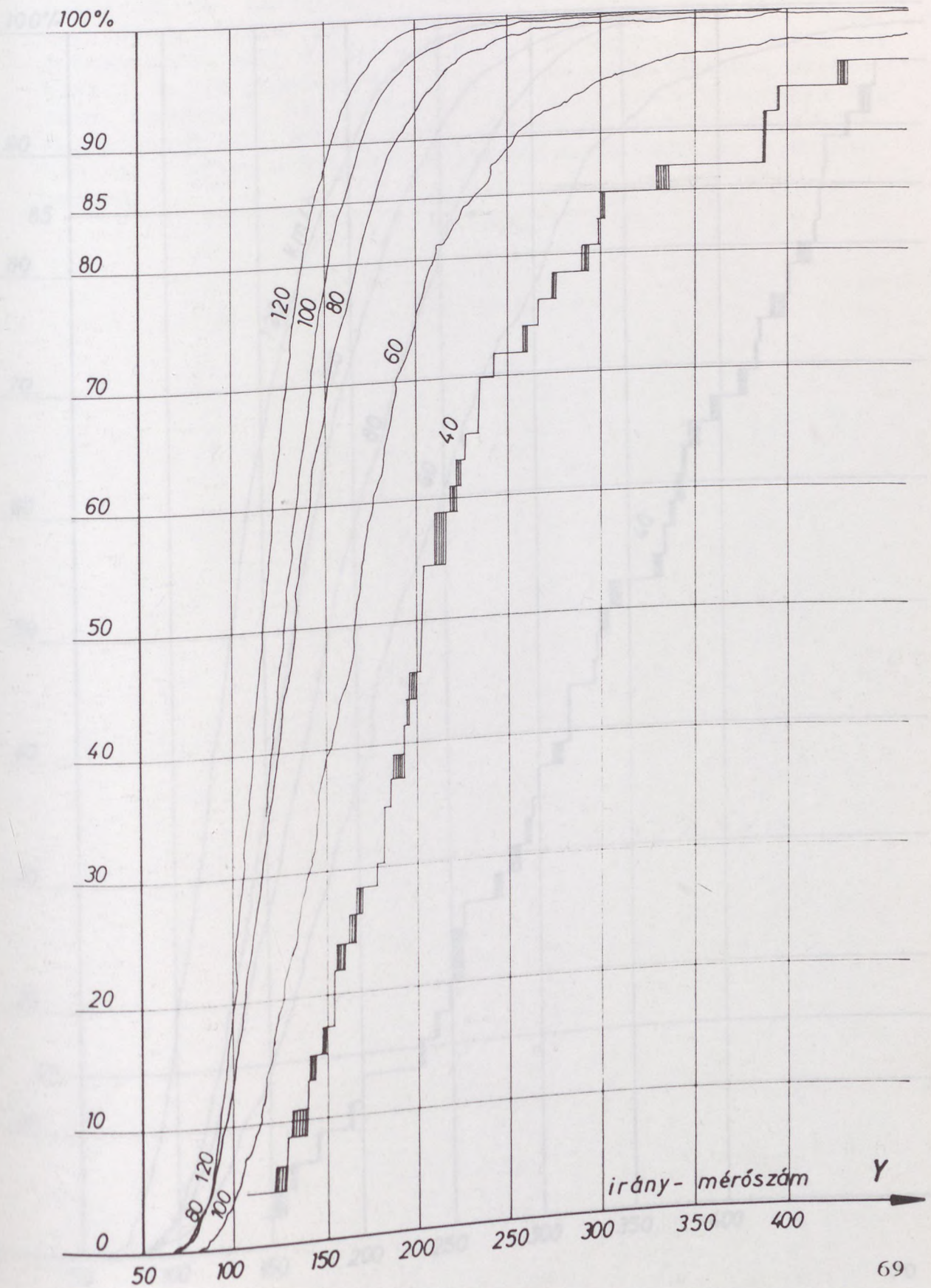
1991. első félév, hn. felépítmény



9.2.-1. ábra

Irány γ mérőszámok eloszlásai

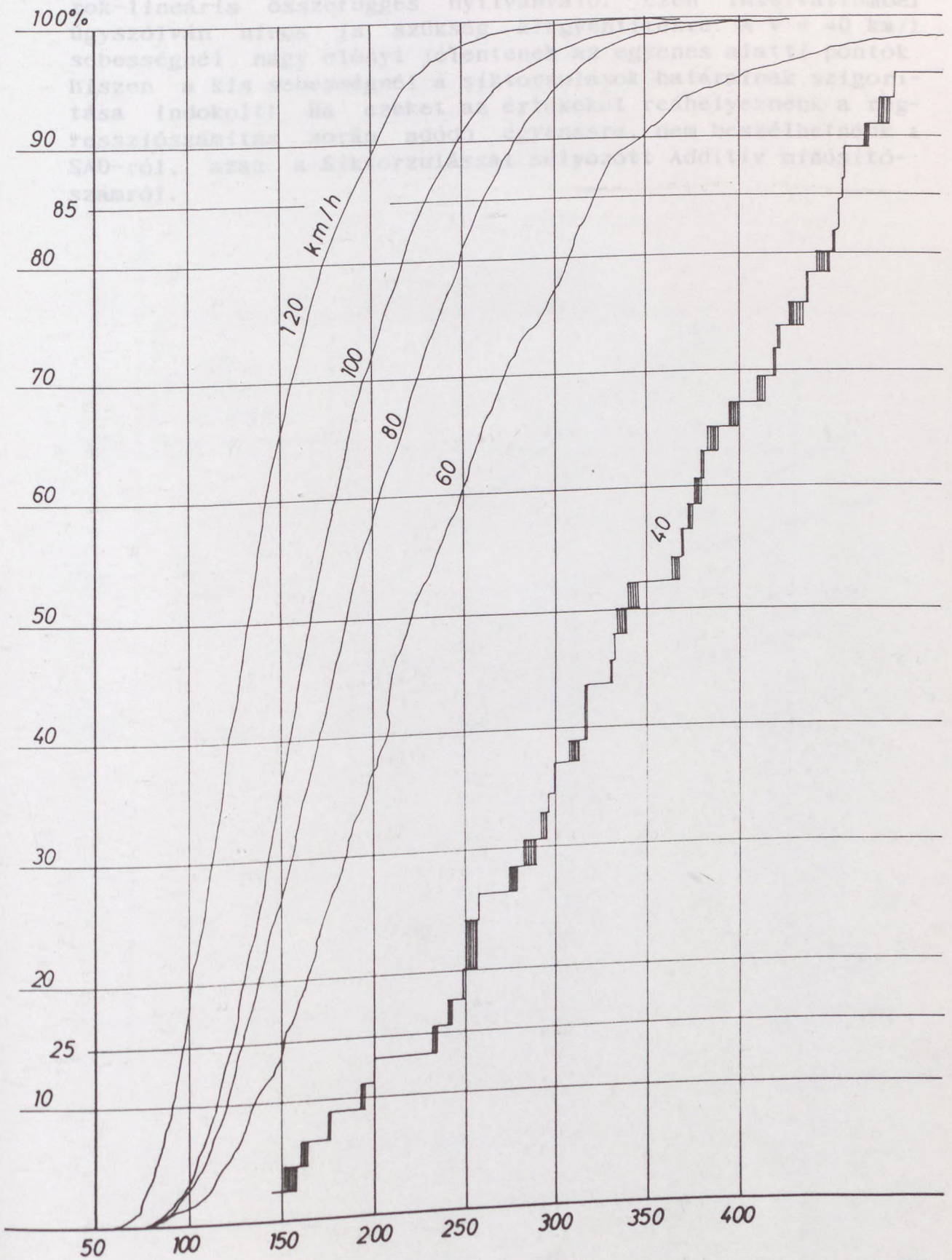
1991. első félév hn. felépítmény



9.2.-2. ábra

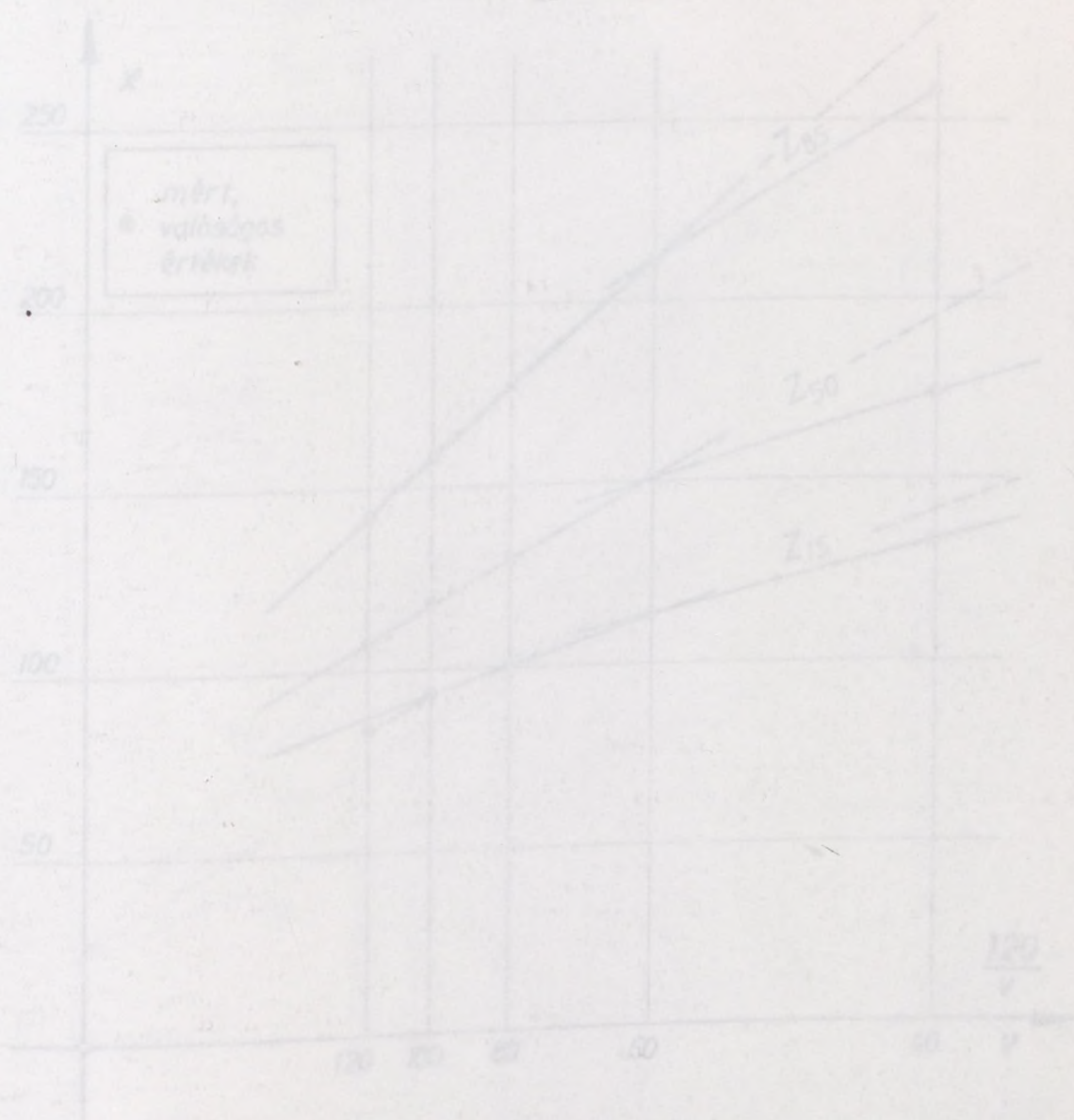
Süppedés Z mérőszámok eloszlásai

1991. első félévében h.n. felépítmény



9.2. - 3. ábra

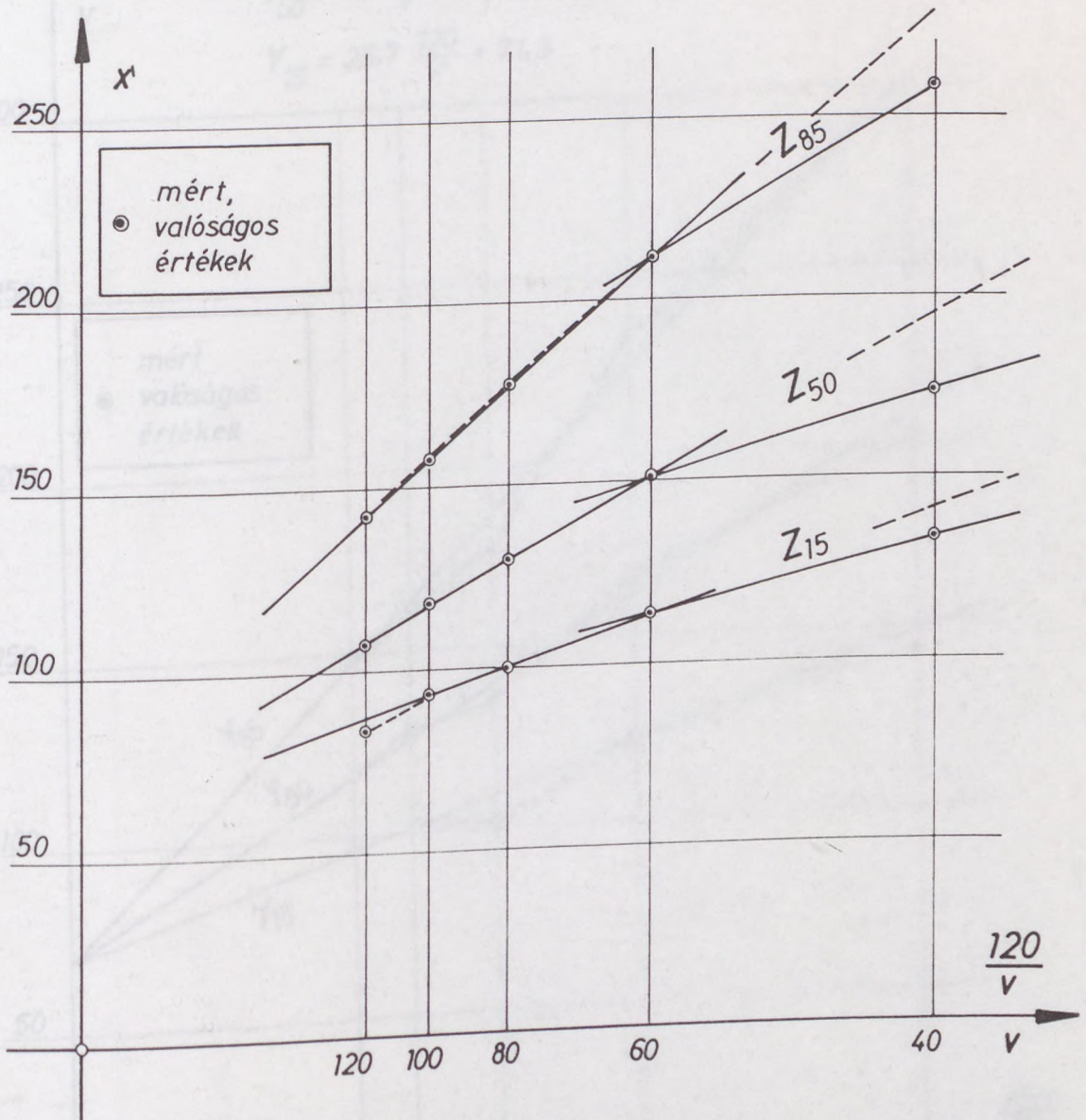
A 9.2-4. ábra a síktorzulás adatait és kiegyenlítését szemlélteti. Látható, hogy $v = 120$ és $v = 60$ között a reciprok-lineáris összefüggés nyilvánvaló. Ezen intervallumban úgyszólván nincs is szükség kiegyenlítésre. A $v = 40$ km/h sebességnél nagy előnyt jelentenek az egyenes alatti pontok, hiszen a kis sebességnél a síktorzulások határainak szigorítása indokolt! Ha ezeket az értékeket reáhelyeznénk a regressziószámítás során adódó egyenesre, nem beszélhetnénk a SAD-ról, azaz a Síktorzulással súlyozott Additív minősítőszámról.



9.2-4. ábra

A MÁV hézagnélküli hálózatának
 1991. első félévi mérési eredményei (●)
 és sebességreciprok kiegyenlítése

(A síktorzulás mérőszámai)



9.2. - 4. ábra

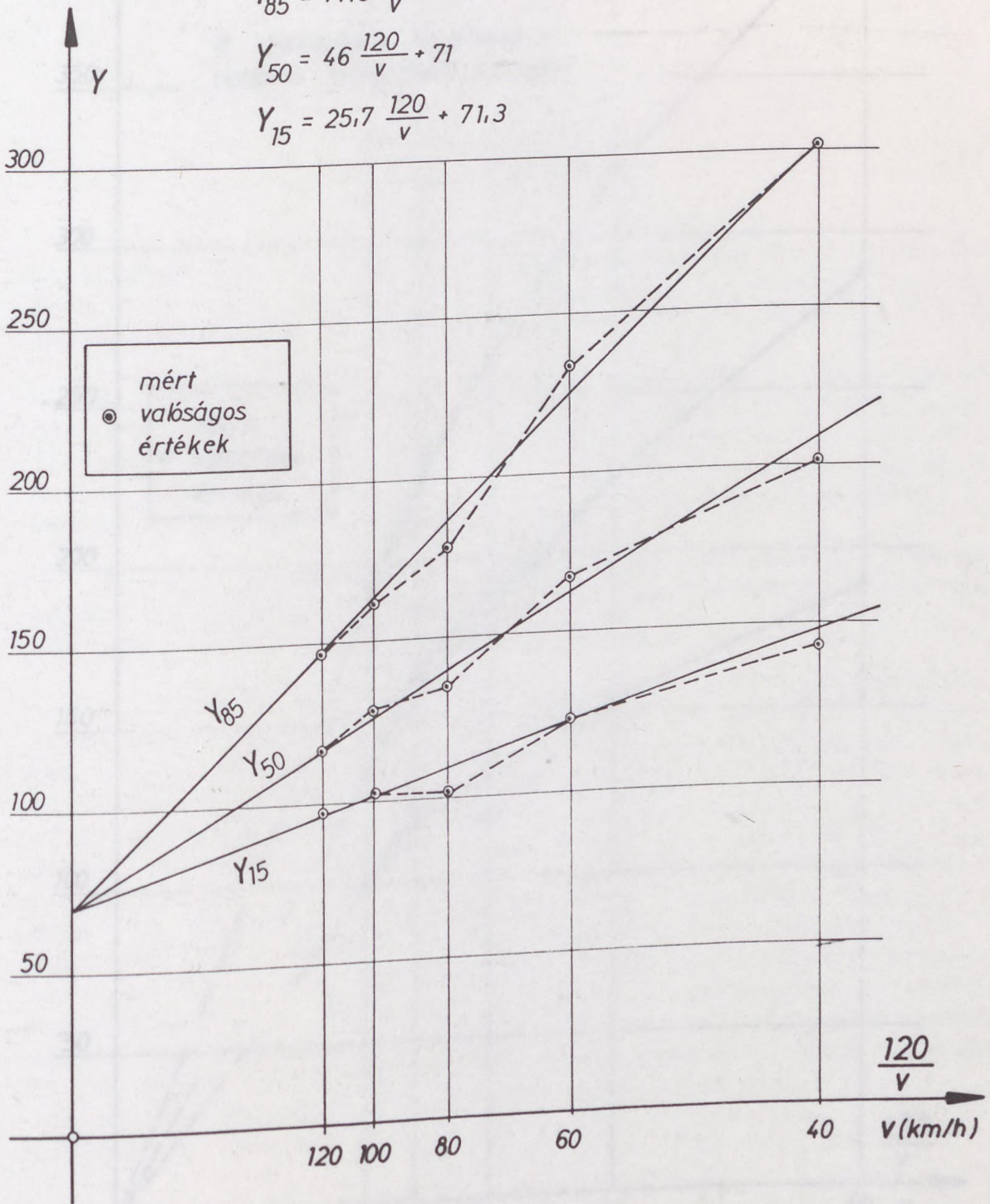
A MÁV hézagnélküli hálózatának
1991. első félévi mérési eredményei (⊙)
és sebességreciprok kiegyenlítése

(Az irány mérőszámai)

$$Y_{85} = 77,5 \frac{120}{v} + 69,5$$

$$Y_{50} = 46 \frac{120}{v} + 71$$

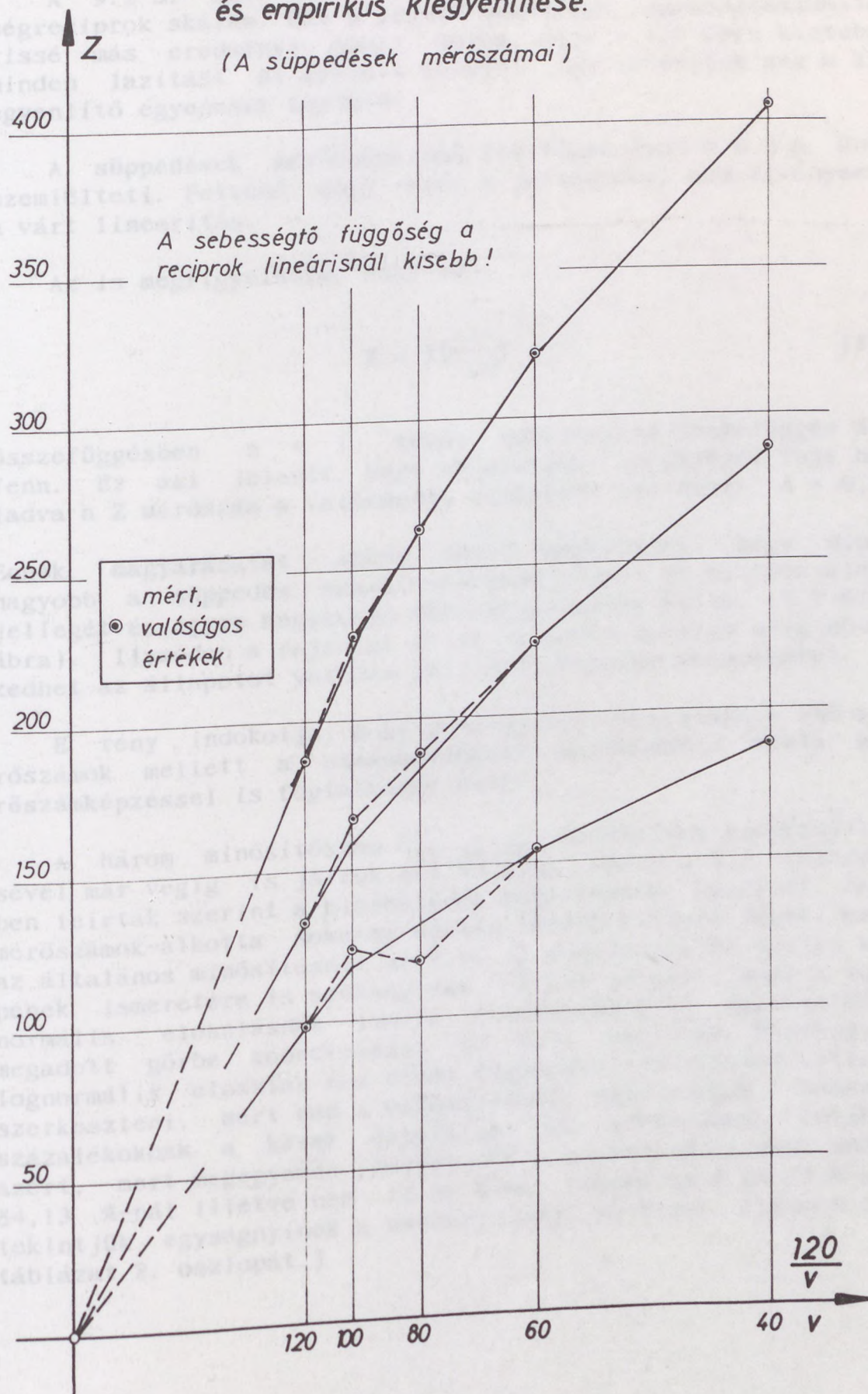
$$Y_{15} = 25,7 \frac{120}{v} + 71,3$$



9.2.-5. ábra

A MÁV hézagnélküli hálózatának
1991. első félévi mérés eredményei (●)
és empirikus kiegyenlítése.

(A süppedések mérőszámai)



9.2.- 6. ábra

A 9.2-5. ábra az irány mérőszámait szemlélteti a sebességreciprok skálán. Bár a gépies numerikus regressziószámítás kissé más eredményt adott volna, de $v = 120$ km/h esetében minden lazítást el kellett kerülni. Így születtek meg a kiegyenlítő egyenesek képletei.

A süppedések mérőszámainak $1/v$ -függvényét a 9.2-6. ábra szemlélteti. Feltűnő, hogy ennél a jellemzőnél nem érvényesül a várt linearitás.

Az is megfigyelhető, hogy az

$$Z = f\left(\frac{1}{v^n}\right) \quad (57)$$

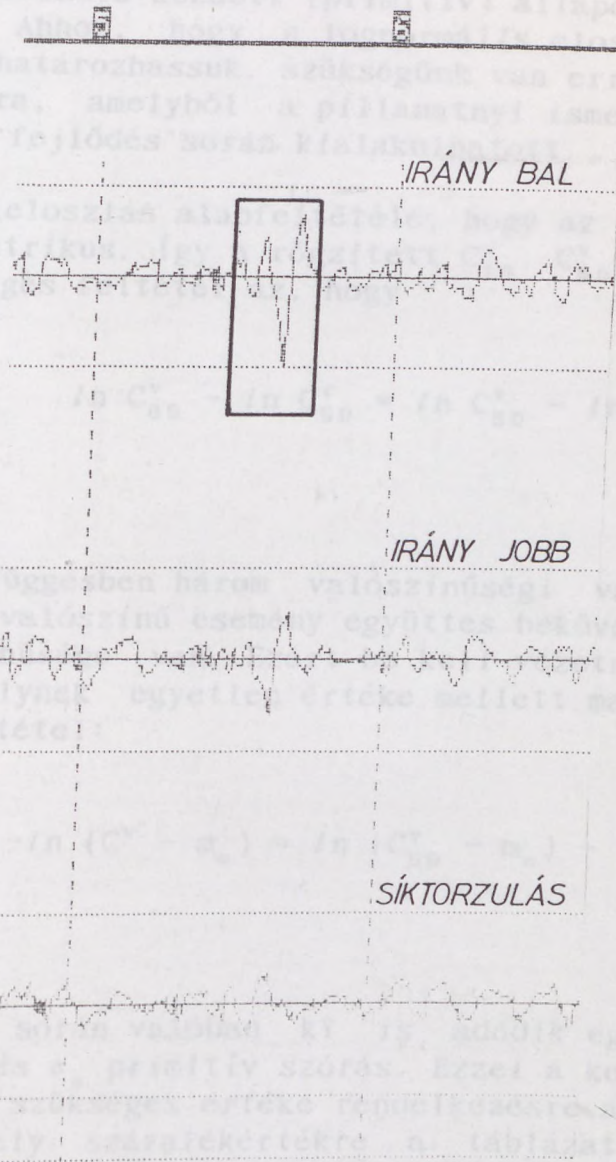
összefüggésben $n < 1$, tehát sublineáris összefüggés áll fenn. Ez azt jelenti, hogy az alacsony sebességek felé haladva a Z mérőszám a valóságnál enyhébben jellemez: $n \approx 0,8$.

Ennek magyarázatát abban lehet megtalálni, hogy minél nagyobb a süppedés, annál erősebben veszti el szinusz-alakjellegét és egyre hegyesedő tölcsérjellegűvé válik. (9.2-6/2. ábra). Ilymódon a rajzolat által határolt terület alig növekedhet az állapotot valóban jellemző süppedés mélységével.

E tény indokolja, hogy a területmérésre alapuló SAD mérőszámok mellett a szakaszonkénti maximumokra épülő mérőszámképzéssel is foglalkozni kell.

A három minősítőszám $C_{15,50,85}^v$ értékeinek kiegyenlítésével már végig is jártuk azt az utat, amely a 8.3. fejezetben leírtak szerint a hibahatárok rögzítéséhez vezetett. Ám a mérőszámok-alkotta sokaság esetén tovább kellett lépni, mert az általános minősítésnél az $F(C)_{\%}^v$ eloszlásgörbe teljes képeinek ismeretére is szükség van. Ez azt jelenti, hogy a lognormális eloszlásnak ismert értékhármásával egyértelműen megadott görbe koordinátáit be kell sűríteni. Minthogy a lognormális eloszlás nem elemi függvény, táblázatot kellett szerkeszteni, mert nem a valószínűségi változóknak, hanem a százalékoknak a kerek értékeire van szükségünk; továbbá azért, mert megegyezés szerint nem a normáeloszlásnál adódó 84,13 %-nál illetve nem 15,87 %-nál, hanem 85 % és 15 %-nál tekintjük egységnyinek a valószínűségi változót. (Lásd 9. II. táblázat 2. oszlopát.)

Visszatérve a központi határozás tételére, amelyet a 3.5. fejezetben már elméleti vonatkozásban alkalmaztunk, fel kell tételoznünk, hogy a logaritmus normáleloszlásnak van egy meghatározható kezdeti primitív állapota, amely normál-eloszlást ad. A normál-eloszlás görbe bármely pontját meghatározhatjuk, szükségünk van erre a primitív normál-eloszlásra, amelyből a pillanatnyi ismert állapot az exponenciális fejlődés során kialakul.



9.2.-6/2 A bekeretezett hiba növekedését a terület növekedése alig követheti:
 A szinuszmodell alatti terület itt már nem kielégítően jellemez !

Visszatérve a központi határeloszlás tételére, amelyet a 3.8. fejezetben már elméleti vonatkozásában alkalmaztunk, fel kell tételeznünk, hogy a logaritmikus normáleloszlásnak van egy meghatározható kezdeti (primitív) állapota, amely normáleloszlású. Ahhoz, hogy a lognormális eloszlásgörbe bármely pontját meghatározhassuk, szükségünk van erre a primitív normáleloszlásra, amelyből a pillanatnyi ismert állapot az exponenciális fejlődés során kialakulhatott.

A normáleloszlás alapfeltétele, hogy az m várható értékre nézve szimmetrikus. Így a rögzített C_{15}^v , C_{50}^v és C_{85}^v mellett adódó szükséges feltétel az, hogy

$$\ln C_{85}^v - \ln C_{50}^v = \ln C_{50}^v - \ln C_{15}^v \quad (58)$$

teljesüljön.

Az összefüggésben három valószínűségi változó szerepel, így a három valószínű esemény együttes bekövetkezésének csekély valószínűsége van. Ezért be kell vezetnünk egy additív változót, melynek egyetlen értéke mellett már teljesülhet a szükséges feltétel:

$$\ln (C_{85}^v - m_0) - \ln (C^v - m_0) = \ln (C_{50}^v - m_0) - \ln (C_{15}^v - m_0) \quad (59)$$

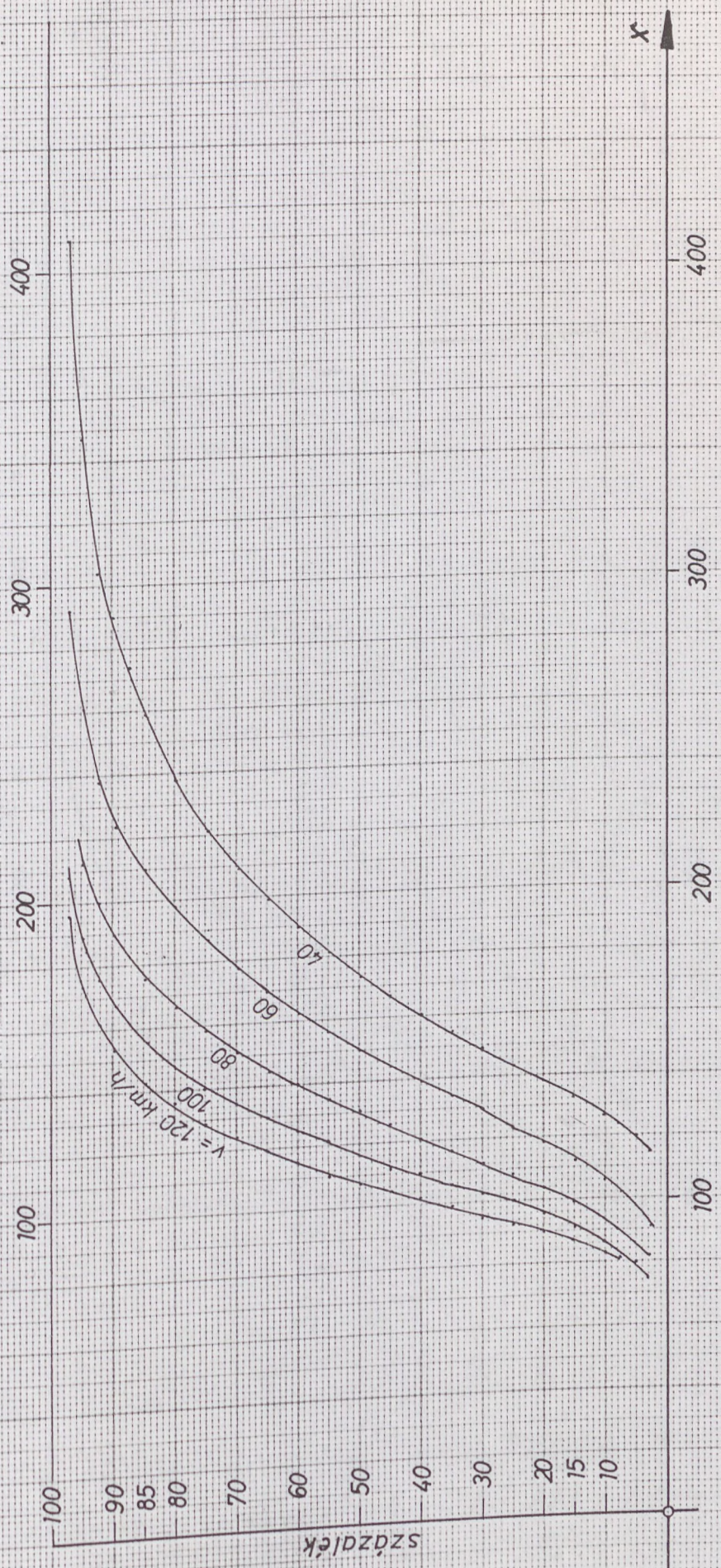
Az iterációk során valóban ki is adódik egy-egy m_0 primitív érték és σ_0 primitív szórás. Ezzel a kezdeti normáleloszlás minden szükséges értéke rendelkezésre áll. A közbenső pontjai bármely százalékértékre a táblázat segítségével nyerhetők.

A 9.II. táblázat a numerikus, a 9.2-7...10. ábrák az eredmények grafikus összefoglalásai.

9.II. táblázat

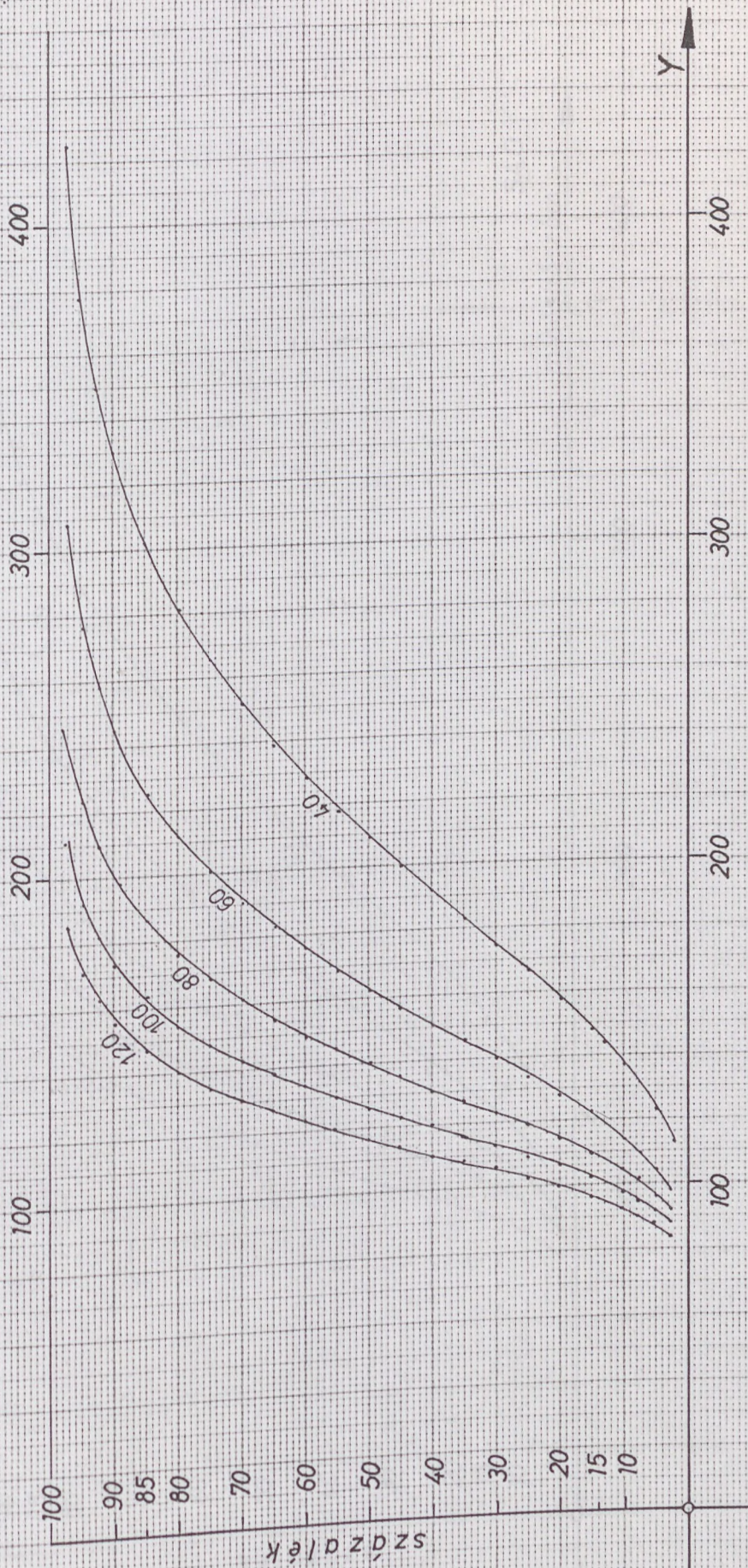
V [km/h]	120				100				80				60				40			
	55,5	57	45,5	52,3	47,5	56	54,5	59,5	44,0	54	39,0	45,5	47,5	42	-25,4	30	95	32	-49,0	22
m.	0,5108	0,4054	0,4993	0,4698	0,4456	0,4198	0,4988	0,5026	0,4287	0,4286	0,4374	0,4320	0,4373	0,4137	0,3285	0,3987	0,731	0,4223	0,1388	0,3955
σ.	3,9608	4,0943	4,4601	4,2002	4,2413	4,2485	4,6434	4,2973	4,4543	4,4534	4,9698	4,6587	4,6396	4,758	5,5292	6,0039	4,3694	5,1761	6,6580	5,3083
ln (C + m) 50																				
% F (%)	X	Y	Z	SAD	X	Y	Z	SAD	X	Y	Z	SAD	X	Y	Z	SAD	X	Y	Z	SAD
100	196	186	268	215	209	211	321	250	273	247	368	284	284	308	439	347	410	425	523	449
97,5	+1,8910	174	237	193	188	182	284	223	213	224	327	255	261	277	395	311	347	378	481	400
95	+1,5871	162	218	180	176	181	262	207	200	210	303	238	237	279	368	289	303	350	455	372
92,5	+1,3886	154	206	172	168	173	247	196	190	200	286	226	223	245	349	274	290	330	425	351
90	+1,2365	143	188	159	156	163	226	181	176	186	262	208	211	225	321	252	259	302	405	322
85	+1,0000	140	175	150	147	154	210	170	166	176	244	195	198	212	300	236	238	281	382	301
80	+0,8121	136	165	143	140	148	198	161	158	168	230	185	187	201	283	223	222	265	363	284
75	+0,6507	129	157	137	135	143	188	154	151	161	219	177	178	191	269	212	209	251	346	269
70	+0,5059	123	150	132	130	138	180	148	145	155	208	169	170	183	256	203	199	239	330	256
65	+0,3718	119	143	127	125	134	172	143	140	149	199	163	163	176	245	194	189	228	316	245
60	+0,2444	115	137	123	121	130	165	138	135	145	191	157	157	169	234	186	181	218	302	234
55	+0,1211	111	120	123	119	126	158	133	130	140	183	151	151	163	224	179	174	209	289	224
50	0,0000	108	117	132	119	117	158	133	130	140	183	151	151	163	224	179	174	209	289	224
45	-0,1211	105	114	127	115	113	152	129	126	136	176	146	145	157	214	172	167	200	276	215
40	-0,2444	102	111	122	112	110	147	125	121	131	168	140	140	151	205	165	161	192	263	205
35	-0,3718	99	109	117	108	106	141	121	117	127	161	135	135	146	195	159	165	183	250	196
30	-0,5059	96	106	113	105	103	135	117	113	123	154	130	130	140	186	152	150	175	236	187
25	-0,6507	93	103	108	101	100	109	130	109	119	147	125	124	134	176	145	144	167	222	178
20	-0,8121	90	100	103	98	96	106	124	108	115	140	120	119	128	165	138	139	158	206	169
15	-1,0000	87	97	98	94	92	102	118	104	110	132	114	113	122	154	130	133	148	188	158
10	-1,2365	83	93	92	90	87	98	111	99	105	123	107	106	114	141	121	127	137	166	146
7,5	-1,3886	81	91	89	88	82	96	106	96	102	117	103	102	109	133	116	120	131	152	139
5	-1,5871	79	89	85	84	80	92	102	93	98	111	99	98	104	123	109	120	123	135	130
2,5	-1,8910	75	84	79	80	77	88	95	88	92	102	92	91	97	109	100	115	112	112	118
0																				

A MÁV hézagnélküli hálózatának a 1991. első félevi bemérés eredményeinek alapján kiegyenlített síktorzulás - mérőszámának eloszlása



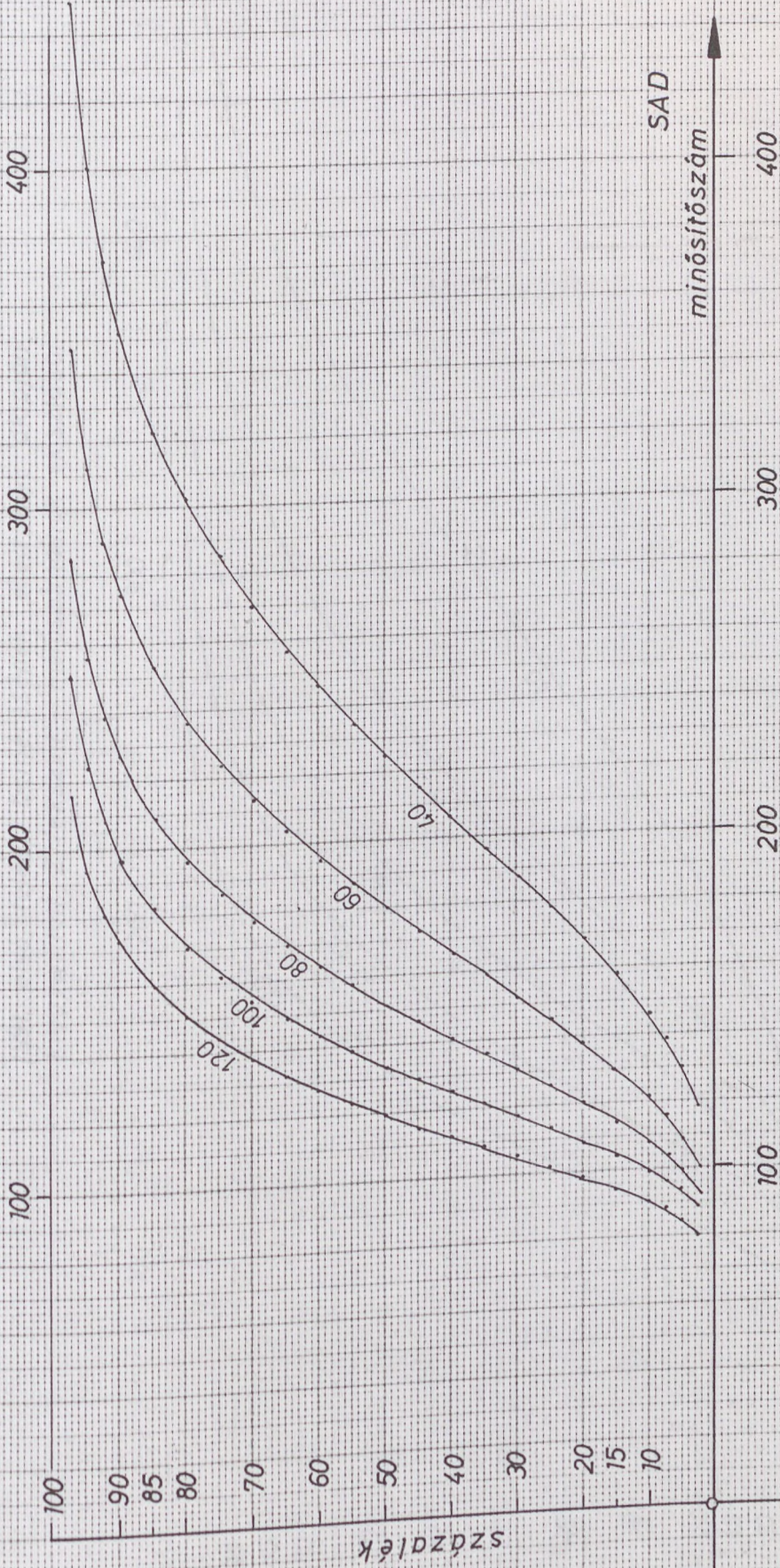
9.2. - 7 ábra

A MÁV hézag nélküli hálózatának a 1991. első félévi bemérés eredményeinek alapján kiegyenlített Y-irány mérőszámainak eloszlásai



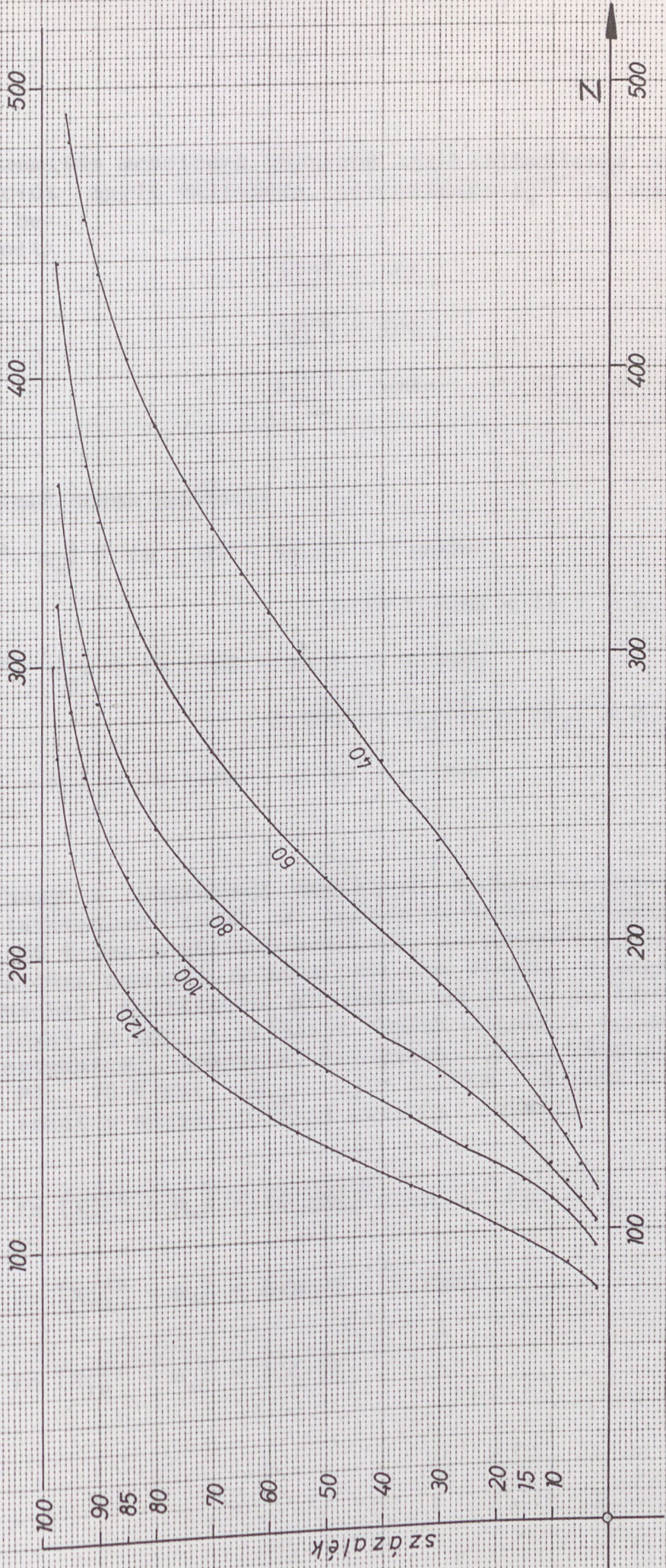
9.2. - 8. ábra

A MÁV hézagnélküli hálózatának a
 1991. első félévi bemérés eredményeinek alapján
 Kiegészített SAD minősítő számainak eloszlásai



9.2.-9. ábra

A MÁV hézagnélküli hálózatának a
 1991. első félévi bemérésének eredménye alapján
 kiegyenlített Z fekszint - mérőszámok eloszlása



9.2.-10. ábra

A számítás menetének könnyebb áttekinthetősége céljából a kalkulációt egyik változóra, nevezetesen $X_{\%}^{120}$ -ra vonatkozóan mutatom be:

Adott volt:

$$X_{15}^{120} = 87$$

$$X_{50}^{120} = 108$$

$$X_{85}^{120} = 143$$

Az iteráció során adódott:

$$\ln (X_{15}^{120} - m_0) = \ln (87 - 55,5) = 3,4499$$

$$3,4499 - 3,9608 = |\sigma_0| = 0,5109$$

$$\ln (X_{50}^{120} - m_0) = \ln (108 - 55,5) = 3,9608$$

$$3,9608 - 4,4716 = |\sigma_0| = 0,5109$$

$$\ln (X_{85}^{120} - m_0) = \ln (143 - 55,5) = 4,4716$$

Mint hogy a szórásnak megfelelő helyen a logaritmusok azonos távolságra esnek a pontszimmetrikus normáleloszlás várható, 50 %-nak megfelelő értéktől, az adódott 0,5109 érték nyilvánvalóan nem más, mint a primitív szórás. A normalizált logaritmusokat tartalmazó táblázat 85 %-nál és 15 %-nál is 1,000 értéket ad meg. A primitív szórás értékeit rendre $F(\%)$ oszlop értékeivel szorozva, valamennyi logaritmus-érték kiadódik. Pl. 70 %-nál $F_{70} \cdot \sigma_0 = 0,5059 \cdot 0,5109 = 0,2585$ 70 %-nál tehát a normáleloszlás keresett értéke:

$$\ln (X_{70}^{120} - m_0) = \ln (X_{50}^{120} - m_0) + F_{70} \cdot \sigma_K$$

$$\ln (X_{70}^{120} - m_0) = 3,9608 + 0,2585$$

$$\ln (X_{70}^{120} - m_0) = 4,2193$$

$$X_{70}^{120} = e^{4,2193} + m_0$$

$$X_{70}^{120} = 67,9 + 55,5$$

$$X_{70}^{120} \approx 123 \text{ (megegyezik a táblázat értékével)}$$

A mérőszámok eloszlásgörbéinek abszcissza értékeit vég-
eredményben

$$C_{\%}^v = e^{\alpha m v^2} + m_0 \quad (60)$$

alakban sikerült megadni. Ez azt jelenti, hogy a mérőszámok-
nál egy m_0 minimum érték jelentkezik, melynél kisebb állapot-
jellemző nem létezhet.

Ez az m_0 érték más jellegű minimum, mint az, amelyet a
(20) képlet C_0 értékében tárgyaltunk. Ez egy a folyamattól a
+ jellel elkülönített állandó, amely független a romlás fo-
lyamatától, sőt mint ahogy a 9.II.táblázat második sorában
megfigyelhetjük, inkább csökkenő tendenciát mutat a csökkenő
sebességek, tehát a gyengébb pályaállapotok felé. - A romlás
folyamatához, a pálya minőségéhez tehát semmi köze sincs. A C
általános állapotjellemzővel nem kovariáns. Felmerül a kér-
dés, hogy mi a valószínű jelentése:

Nyilvánvalóan nem geometriai állapotjellemző, hanem in-
kább azt az alsó határt jelenti, amelynél a geometriai jel-
lemzés megbízhatósága már nulla: m_0 a geometriai mérőszámok-
kal történő állapotmérés konfidenciaintervallumának a kezdeti
értéke.

E kezdő érték a pálya rugalmas tulajdonságából adódhat.
Mint hogy a pályának nem csak a geometriai jellemzői, hanem
rugalmas jellemzői is valószínűségi változók, továbbá
azért, mert a mérővonal statikus kerékterhei is különbözőek és
ezen túl a lengések miatt változóak is, természetes dolog,
hogy létezik egy határ, melynél a terhelés alatti pályának
sztochasztikus jellegű rugalmas alakváltása már nagyobb, mint
a mérhető geometriai rendezetlenség.

A mérőberendezés úgyszólván m_0 alatt már megzavarja a mérendő tárgyat. A pálya geometriai állapota (más szóval a helye) és a mozgása (más szóval a sebessége) nem értékelhető egyszerre. - Aki a fizikusok gondjait ismeri, tudja, hogy hasonló problémák nem csak a vasúti pályadiagnosztikában bukkannak fel.

A rugalmasság a pályának kedvező tulajdonsága, mely a szennyeződés, az ágyazataprózódás folyamán veszít értékéből. Erre utal az m_0 -nak jó minőségű pályák esetében tapasztalható nagyobb értéke. Gyenge pályaminőségénél a rugalmas tulajdonság a fellépő ún. vaksüppedések miatt már nem a kedvező állapotot, hanem a hanyatlást jellemzi.

9.3. Az eloszlásgörbék alakszámai

A normáeloszlás értékeléséhez elegendő, ha a várható értéket és a szórást ismerjük. A lognormális eloszlásnál ezek csak e-alapú logaritmusok, amelyek alapján nehezen tehetünk összehasonlítást.

Szükséges, hogy legyen módszerünk arra is, hogy egyetlen számmal a sokaság állapotára utalni tudjunk. Tehát kell, hogy a lognormális eloszlásfüggvényt egyetlen számértékkel jellemezhesük. Ezt a megfelelő jellemzőt a görbe másodrendű nyomatékában találtam meg, amelyet alakszámnak neveztem. Képlete:

$$N = [C_{15}^v]^2 + [C_{50}^v]^2 + [C_{85}^v]^2 \quad (61)$$

Általában:

$$N = \Sigma C^2 \quad (62)$$

Ez végeredményben megközelítőleg nem más, mint a dórtnak képzelt eloszlásgörbének a nullaponti függőleges tengelyre vonatkoztatott másodrendű (tehetetlenségi) nyomatéka. Előnye abban rejlik, hogy a valószínűségi változót saját értékével súlyozza.

(Az alakszámokban a jövőbeni gondolkodásnak nagy előnye rejlik: a négyzetes tagok csak pozitív értékűek lehetnek, így valóban állapotjellemző, hiszen a "negatív állapot" nem értelmezhető.)

10. A PÁLYAROMLÁS ÉS A PÉNZÜGYI KÉRDÉSEK
ÖSSZEKAPCSOLÁSA

Sok matematikai összefüggés azért látott napvilágot, mert az embernek javaival, eszközeivel gazdálkodnia kellett. A számokat, számrendszereket és később a kamat és kamatos-kamat fogalmát is a gazdálkodás teremtette meg.

A XVI-XVII. században, Kepler idejében, a kamatos-kamat-számítás megkönnyítésére született meg a logaritmusszámítás Brügi, Napier, Briggs munkája nyomán. Napier talált rá a 2,7182818... transzcendens számra, melyet később Mengoli és Mercator nevezett a természetes logaritmusok alapjának. [82] Valószínű, hogy e két matematikus többet sejtett vagy tudott a természetes folyamatokról, amelyeket az exponenciális függvények írnak le, mint néhány mai, epiririákra támaszkodó tudós.

A romláselméletet pontosan olyan matematikai függvény írja le, mint amilyen a kamatos-kamattal növekvő tőkét vagy tartozást adja meg. Kézenfekvő tehát, hogy a kamatlábat, mint logaritmust összefüggésbe hozzuk a entrópiával, egy másik logaritmussal.

A pályagazdálkodás fogalma csakis akkor nyerhet belső tartalmat, ha a pálya műszaki értékét és pénzbeli értékét azonos elvi és elméleti alapról állapítjuk meg.

Minden valószínűséggel a közeljövőben a magyar vasúti hálózat folyamatos karbantartásánál, felújításánál, fejlesztésénél ki fog alakulni a tulajdonos, használó és fenntartó közötti ésszerű felelősségérdekeltségi viszony, és ennek keretében létre kell jönnie a műszaki és gazdasági elvek összhangjának is.

Induljunk ki a pályaromlás elméletéből:

$$C = C_0 e^{\alpha m v^2} \quad (20)$$

Amennyiben csak azt nézzük, hogy időegységben (pl. évente) mekkora elegymennyiség halad át a pályán, akkor $m = m_e$ évi elegymennyiség szükséges ahhoz, hogy a C_0 kezdeti pályaaállapotot jelző statisztikai szám C -re növekedjék.

C_0 a kezdeti érték, mely a használat következményeként romlik. A romlás reciproka az értéktelenedés, vagyis a természetes amortizáció:

$$\frac{C_0}{C} = e^{-\alpha m v^2} < 1 \quad (32)$$

Ez már egységnél kisebb szám, tehát valószínűségnek fogható fel, mégpedig annak a valószínűségét jelentheti, hogy m elegymennyiség áthaladása után a pálya eredeti C_0 állapotában, eredeti értékén maradt-e.

Az biztos eseménynek tekinthető, hogy a megépült pálya pénzben kifejezett értéke egyenlő a K_0 építési költséggel. Hogy ez egyévi használat után K_0 -ról K_1 -re csökken, valószínű esemény, melynek mértéke:

$$\frac{K_1}{K_0} < 1 \quad (65)$$

Amennyiben C valóban az érték reciprokával, arányos, nyilvánvaló:

$$\frac{K_1}{K_0} = \frac{C_0}{C_1} = e^{-\alpha m_e v^2} \quad (64)$$

Vonalanként, α és v^2 állandó értékek, de m egyenletes forgalomterhelés mellett a t idővel arányos érték.

Mint hogy $e^{-\alpha v^2} = \text{constans} = q$ írható.
Ezzel:

$$K = K_0 q^t \quad (65)$$

$$\text{és } C = C_0 q^{m_e} \quad (66)$$

Így a pályaromlás és a kamatos-kamattal végbemenő tőkenövekedés azonos alapelvű folyamatok. Sőt, mint láttuk a 2,718..., amit először Euler jelölt e -vel, a kamatos-kamatszámításnál bukkant fel először. - Így, ha a pályaeépítés céljára nyújtott hitelt kamatos-kamat terheli, a tőkenövekedés és a pályaromlás összhangja egyértelmű.

Tételezzük fel, hogy olyan szervezet alakul ki, amelyben a piacgazdaságnak megfelelően a használó évenként meghatározott használati díjat fizet. [83] Ennek a használati díjnak a nagysága nem lehet kisebb, mint az építési költség évi kamata. Sőt annál nagyobbak kell lennie, hiszen ellenkező esetben a vállalkozó nem építene vasutat, hanem az arra szánt összeget bankba helyezné el.

Így az elveszett műszaki értéknek legalább a K_0 tőke után kivethető kamatnak kell megfelelnie, amelynek kamatlába p . A műszaki értékvesztés:

$$C - C_0 = C_0 e^{\alpha m_e v^2} - C_0 = C_0 (e^{\alpha m_e v^2} - 1) \quad (67)$$

A megfelelő kamat (használati díj, vagy értékcsökkenési leírás) évi értéke:

$$k_p = K_0 \frac{R}{100} \quad (68)$$

Mint hogy

$$K_0 \hat{=} C_0, \text{ a (67) és (68)} \quad (69)$$

összevetéséből a következő összefüggés adódik:

$$\frac{p}{100} = e^{\alpha m_e v^2} - 1 \quad (70)$$

Amennyiben a használati díj fizetése elmaradna, a kamatos-kamat törvénye lép érvényre.

Amennyiben a használati díjat eszerint állapítják meg, mind a használó, mind a fenntartó érdekelt lesz a gazdaságos üzemeltetésben:

- A használati díj az évi m_e terheléssel arányos. Ennek elengedhetetlensége nem igényelhet magyarázatot.

- Ha használó gyenge pályát nagyobb tengelyteherrel vesz igénybe, α nagyobb, a térítési díjnak exponenciálisan kell növekednie.

- Ha sebességnövelést kíván, az ekvivalens sebességnek megfelelően nő a díj.

- Hasonlóan a sebességkorlátozás és vágányzár a pályafenntartó hasznát fogja csökkenteni.

[42] Így a jó pályának haszna, a sebességnek és a tengelymennyiségnek ára lesz.

[48] KTMF Vasútépítési Tanszék kutatási jelentése (Vaszary Pál társaszerző)
A vasútépítési anyaggyártás kérdései az UIC 54 kg-os sín bevezetésével kapcsolatban a MAV-nál - 1971

[54] Sínpelőjítő űres létesítéséhez tanulmány
SZIMP Vasútépítési Tanszék kutatási jelentése (Vaszary Pál társaszerző)
Sínpelőjítő űres létesítéséhez tanulmány 1983

[57] Kísérleti jelentés
KTMF Vasútépítési Tanszék kutatási jelentése (Vaszary Pál önálló szerzője) 1978

[70] Dr. Ch. Eichler
A karbantartás tervezése
Műszaki Könyvkiadó, Bp. 1982

[71] Coentrans Tavöld
Modern Railway Track
Szerző saját kiadványa 1989

[72] Székelyné Nagy Gyula, Gohár László, Nagy Péter
Differential Geometria
Műszaki Könyvkiadó Bp., 1979

[73] Dr. Varga László
Töltések megerősítésének talajtérítési okai
KTMF Tudományos Kiadványok, 1984

IRODALMI HIVATKOZÁSOK

(Az értekezés szövegében a mű megjelölése néhol tört alakú: a nevezőben a megfelelő oldalszám szerepel.)

- [13] Vaszary Pál
A vasúti futásbiztonságot befolyásoló erőhatások
Közlekedéstudományi Szemle 1967/6
- [42] Vaszary Pál
Keréktehermentesülés, mint kisiklást előidéző ok
Sinek Világa 1964/1
- [48] KTMF Vasútépítési Tanszék kutatási jelentése
(Vaszary Pál társszerző)
A felépítményi anyaggazdálkodás kérdései az UIC 54
kg-os sín bevezetésével kapcsolatban a MÁV-nál - 1971
- [54] Sínelújító üzem létesítéséhez tanulmány
SZIMF Vasútépítési Tanszék kutatási jelentése
(Vaszary Pál társszerző)
Sínelújító üzem létesítéséhez tanulmány 1988
- [57] Kisiklászelmélet
KTFM Vasútépítési Tanszék kutatási jelentése
(Vaszary Pál önálló munkája) 1978
- [70] Dr. Ch. Eichler
A karbantartás tervezése
Műszaki Könyvkiadó, Bp. 1982
- [71] Coenraad Esveld
Modern Railway Track
Szerző saját kiadványa 1989
- [72] Szőkefalvi-Nagy Gyula, Gehér László, Nagy Péter
Differenciál Geometria
Műszaki Könyvkiadó Bp. 1979
- [73] Dr. Varga László
Töltések romlásának talajfizikai okai
KTMF Tudományos Ülésszak, 1984

- [74] Dr. Schnell László
Jelek és rendszerek mérés technikája
Műszaki Könyvkiadó 1985
- [75] C.F. von Weizsäcker
Válogatott tanulmányok
Gondolat - Bp. 1980
- [76] Alfred Kastler
Az a különös anyag
Gondolat - Bp. 1980
- [77] Kurt Mendelssohn
Az abszolút zérus fok
Gondolat - Bp. 1983
- [78] T. Poston - J. Stewart
Katasztrófaelmélet és alkalmazásai
Műszaki Könyvkiadó 1985
- [79] Buda Ágoston
Kísérleti Fizika I.
Tankönyvkiadó, Bp. 1975
- [80] Gajári Judit
A vasúti vágányban fekvő sinek élettartama anyaguk
kifáradásának figyelembevételével
Közlekedéstudományi Szemle 1989/12
- [81] Ch. Eichler
A karbantartás tervezése
Műszaki Könyvkiadó 1982
- [82] Sain Márton
Nincs királyi út
Gondolat Kiadó, Bp. 1986
- [83] MÁV 2000

F Ü G G E L É K

I. Korábbi eredmények

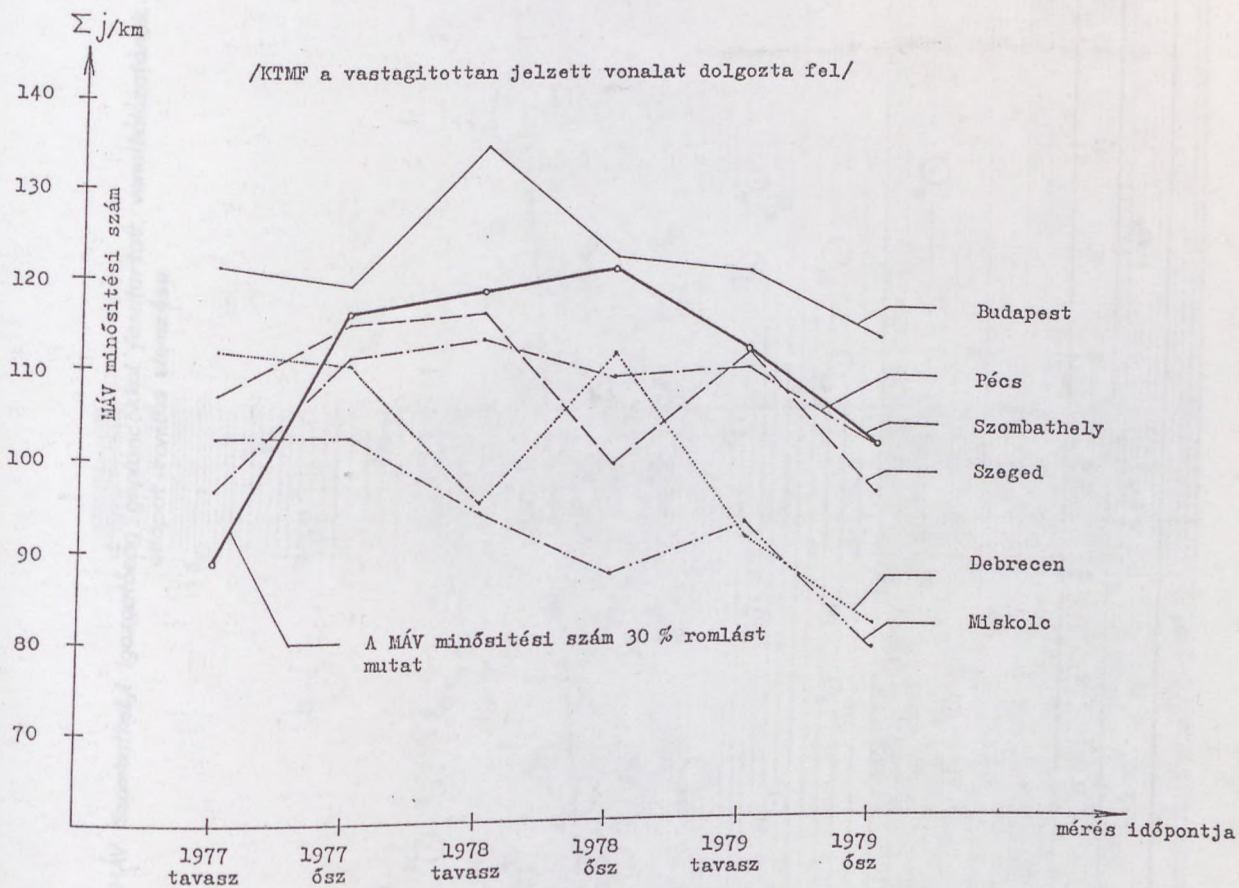
A múltbeli pályafenntartási rendszerekről írt 2. fejezetben utaltam arra, hogy stabil mérési eredményeket szolgáltató felépítményi mérőkocsi nélkül tökéletes pályafenntartási rendszert kiépíteni nem lehet.

Ennek ellnére már 1980-ban tanszéki munka keretében vállalkoztam arra, hogy bemutassam az állapotváltozástól függő pályafenntartási rendszer kiépítésének lehetőségét, mely már a pályaromlás elmélete alapján számítja az egyes vonalak tervszerű megelőző karbantartásának ciklusidő szerinti szabályozását. A következő öt oldal az akkor elért eredményeket foglalja össze:

- A I/1. ábra az akkori mérések viszonylagos instabilitását szemlélteti, érzékeltetve a kiegyenlítés nehézségeit.
- A I/2. ábra az elemzett vonalak átlagos romlási rátájának korrelációját szemlélteti.
- Az I/3. táblázat az üzemi terhelések számításának eredményeit tartalmazza. Feltűnő, hogy az ekvivalens sebességek szórása milyen csekély.
- A I/4. ábra néhány elemzett vonalnak a mérésekből számított romlási rátáját szemlélteti.
- a I/5. táblázat az elemzésnél adódott ciklusidőket adja végeredményként.

A munkának végeredménye mutatja, hogy nem teljesen stabil mérések esetén is reális eredmények adódtak.

A MÁV Igazgatóságok pályaminősítési számai 1977-1979. években.



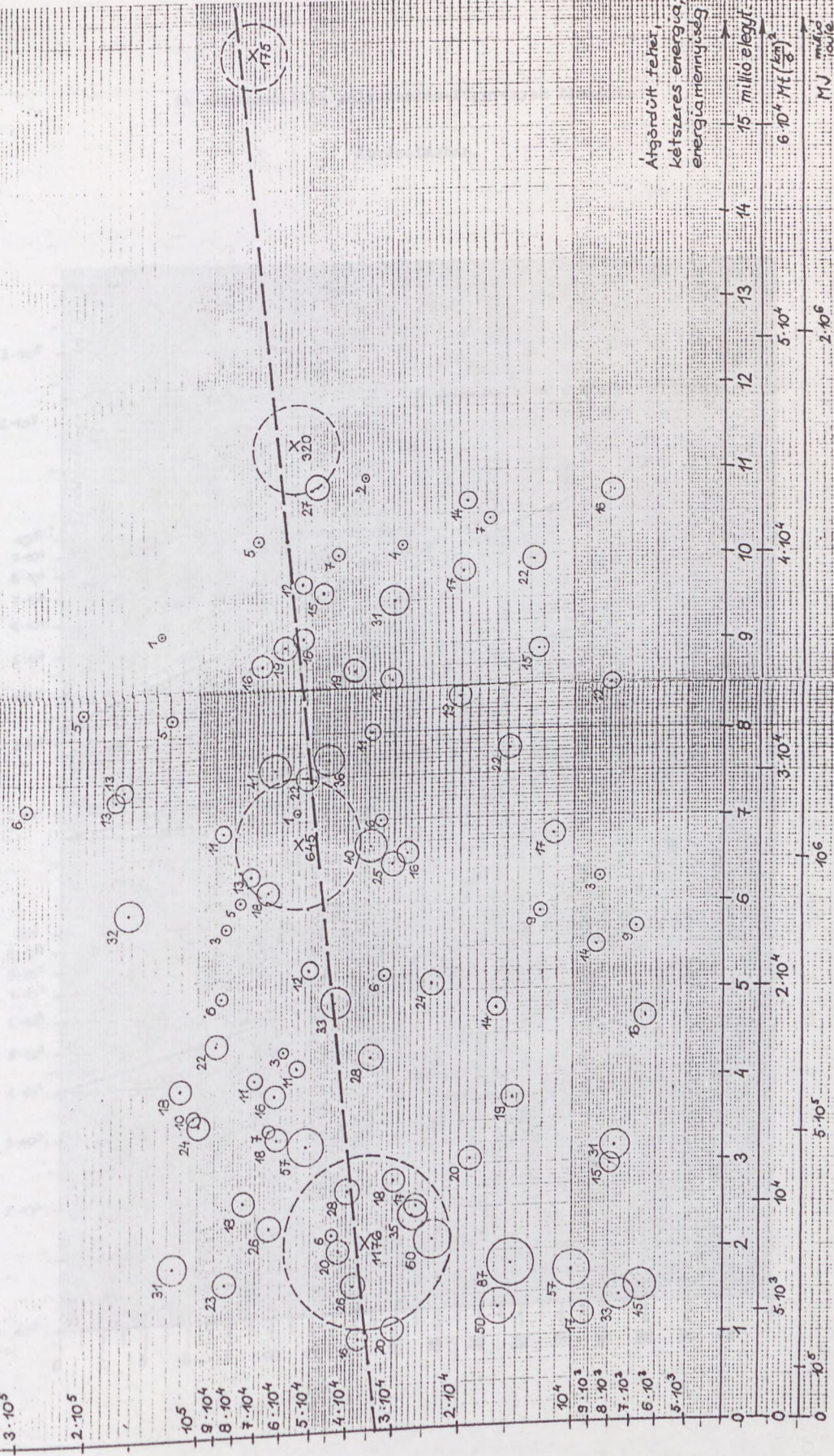
Szélső értékek közötti mérőszám különbségek

Bp	103,5	-	134,4	=	- 29,9
Db	81,9	-	112,4	=	- 30,5
M	79,2	-	103,1	=	- 23,9
P	96,3	-	113,4	=	- 17,1
Sze	96,4	-	116,6	=	- 20,2
Szo	89,1	-	121,4	=	32,3

(I/1)

Pályaalapot
mérőszám Π_j

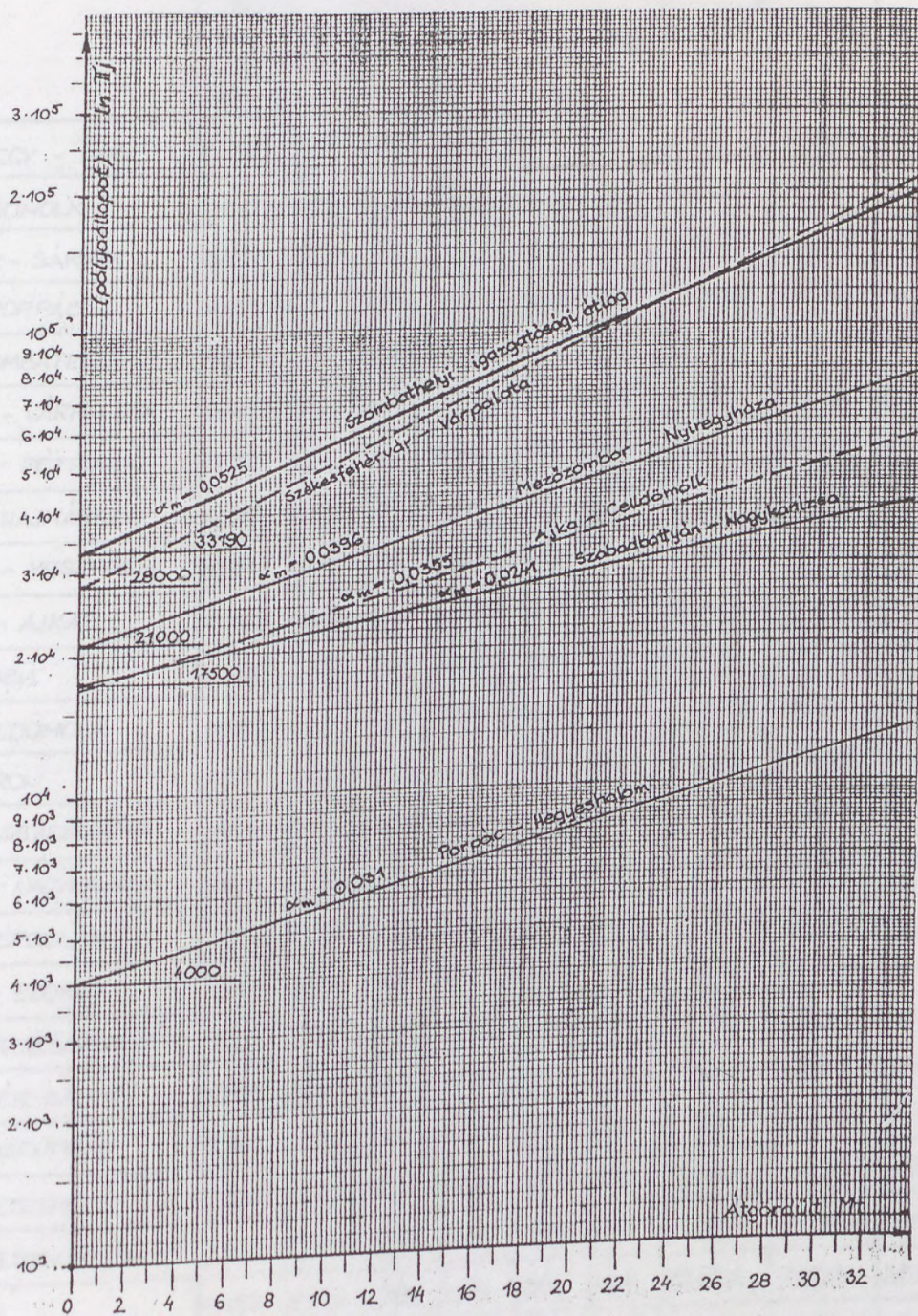
A MÁV Szombathelyi Igazgatóság géplánccal fenntartott
állapot-romlás elemzése



(I/2)

Az exponenciális pályaromlás-függvények lineáris

ábrázolásban.



(I/3)

I. TÁBLÁZAT

A MÁV SZOMBATHELYI IGAZGATÓSÁGÁNAK GEPLÁNCOKKAL FENNTARTOTT VONALAINAK TERHELÉSE 1979 ÉVBEN

TERHELÉSI SZAKASZ	m' ÉVI ÖSSZES ELEGY- TONNA MENNYI- SÉG Mt /millió tonna/	m' megoszlása				Ve EKYI- VALENS SEBES- SÉG km/ó	2E KÉTSZE- RES ENERGIA ÉV $\frac{Mt \left(\frac{km}{ó}\right)^2}{év}$	E ENERGIA ÉV $\frac{10^9 \text{ JOULE}}{év}$	P TELJESÍTMÉNY	
		90	70	60	50				Joule = W s	kW
		km/ó								
		625	378	278	193					
		(m/s) ²								
		mgy	m _{sz}	m _t	m _k					
Mt										
GYÖRSZABADHEGY - PÁPA	7,782	0,242	1,509	5,191	0,840	62,2	30156,2	1163,435	36892,3	36,89
PÁPA - CELLDÖMÖLK	7,707	0,242	1,339	5,274	0,852	62,0	29652,5	1144,000	36276,0	36,28
CELLDÖMÖLK - SÁRVÁR	8,767	1,107	1,839	4,921	0,900	65,8	37956,7	1464,378	46435,1	46,44
SÁRVÁR - PORPÁC	8,592	1,107	1,996	4,589	0,900	66,1	37529,6	1447,902	45912,7	45,91
PORPÁC - SZOMBATHELY	14,696	1,107	2,545	10,004	1,040	63,9	60078,9	2317,858	73498,8	73,50
SZ.FEHÉRVÁR - VÁRPALOTA	12,415	0,756	1,927	8,838	0,894	63,2	49642,1	1915,206	60730,8	60,73
VÁRPALOTA - PÉTFÜRDŐ	12,415	0,756	1,927	8,838	0,894	63,2	49642,1	1915,206	60730,8	60,73
PÉTFÜRDŐ - HAJMÁSKÉR	11,537	0,756	1,930	7,957	0,894	63,5	46482,7	1793,314	56865,6	56,86
HAJMÁSKÉR - VESZPRÉM	10,015	0,756	2,241	6,124	0,894	64,3	41402,2	1597,306	50650,2	50,65
VESZPRÉM - AJKA	9,316	0,756	1,746	6,120	0,894	64,2	38462,6	1483,895	47054,0	47,05
AJKA - BOBA	10,066	0,756	2,188	6,298	0,824	64,3	41594,3	1604,720	50885,3	50,88
BOBA - CELLDÖMÖLK	13,949	1,194	2,576	8,886	1,293	64,2	57540,3	2219,918	70393,1	70,39
GYÖR - SOPRON	7,711	0,499	1,352	4,850	1,010	63,1	30665,4	1183,080	37515,2	37,52
SZOMBATHELY - ZALASZENTIVÁN	7,652	0,146	1,257	5,505	0,744	54,7	22877,4	882,616	27987,6	27,99
ZALASZENTIVÁN - NAGYKANIZSA	9,143	0,146	1,191	6,916	0,890	61,1	34160,8	1317,933	41791,4	41,79
PORPÁC - RÉPCELAJ	7,626	0,000	0,548	6,518	0,560	60,1	27568,9	1063,614	33727,0	33,73
RÉPCELAJ - CSORNA	7,835	0,000	0,548	6,607	0,680	60,0	28189,7	1087,565	34486,4	34,49
CSORNA - HEGYESHALOM	7,877	0,000	0,396	6,997	0,484	60,0	28360,0	1034,133	34694,7	34,69
UKK - ZALABÉR - BÁTÝK	3,932	0,438	1,004	2,211	0,279	66,0	17130,1	660,884	20956,5	20,96
BÁTÝK - ZALASZENTIVÁN	3,968	0,438	1,161	2,090	0,279	66,3	17463,2	673,738	21364,1	21,36
TAPOLCA - KESZTHELY	2,247	0,000	1,229	0,958	0,060	65,4	9622,4	371,233	11771,7	11,77
KESZTHELY - B.SZENTGYÖRGY	3,367	0,243	2,014	1,110	0,000	68,6	15833,9	610,874	19370,7	19,37
BOBA - UKK	6,139	0,759	0,986	4,019	0,375	65,6	26336,2	1018,370	32292,3	32,29
UKK - UZSA	3,912	0,219	0,954	2,436	0,303	63,9	15982,0	616,587	19551,8	19,55
UZSA - LESENCETÓHAJ	3,418	0,000	0,950	2,188	0,280	62,2	13237,4	510,702	16194,2	16,19
SZABADBATTYÁN - BALATONFÜRED	5,645	0,819	1,886	2,621	0,319	68,0	26114,2	1007,494	31947,4	31,95
BALATONFÜRED - TAPOLCA	4,949	0,768	1,403	2,454	0,324	67,8	22745,8	877,539	27826,6	27,83

IV. táblázat. Fenntartási ciklusidő számítása

Sor- szám	V o n a l	m'	v_e	v_e^2	α_{2E}	Elméleti ciklusidő
		Mt	km/ó	km ² /ó ²	$\times 10^{-5}$	év
1.	Mezőzombor-Nyiregyháza	30,0	67,0	4490	0,8822	0,84
2.	Szabadhattyán-Nagykanizsa	9,40	62,0	3840	0,6269	4,42
<u>Szombathelyi igazgatóság</u>						
3.	Győrszabadhegy-Pápa	7,782	62,2	3869	0,8616	3,85
4.	Pápa-Celldömölk	7,707	62,0	3844	0,8616	3,92
5.	Celldömölk-Sárvár	8,767	65,8	4330	1,48	1,78
6.	Sárvár-Porpác	8,592	66,1	4369	0,8616	3,09
7.	Porpác-Szombathely	14,696	63,9	4083	0,8616	1,93
8.	Székesfehérvár-Várpalota	12,415	63,2	3994	1,48	1,36
9.	Várpalota-Pétfürdő	12,415	63,2	3994	0,8616	2,34
10.	Pétfürdő-Hajmáskér	11,537	63,5	4032	0,8616	2,50
11.	Hajmáskér-Veszprém	10,015	64,3	4134	0,8616	2,80
12.	Veszprém-Ajka	9,316	64,2	4122	1,48	1,76
13.	Ajka-Boba	10,066	64,3	4134	0,8616	2,79
14.	Boba-Celldömölk	13,949	64,2	4122	0,8616	2,02
15.	Győr-Sopron	7,711	63,1	3982	0,8616	3,78
16.	Szombathely-Zalaszentiván	7,652	54,7	2992	0,8616	5,07
17.	Zalaszentiván-Nagykanizsa	9,143	61,1	3733	0,8616	3,40
18.	Porpác-Répcelak	7,626	60,1	3612	0,8616	4,21
19.	Répcelak-Csorna	7,835	60,0	3600	0,8616	4,11
20.	Csorna-Hegyeshalom	7,877	60,0	3600	0,8616	4,09
21.	Ukk-Zalabér-Batyk	3,932	66,0	4356	0,8616	6,78
22.	Zalabér-Batyk-Zalaszentiván	3,968	66,3	4396	0,8616	6,65
23.	Tapolca-Keszthely	2,247	65,4	4277	1,48	7,03
24.	Keszthely-B. szentgyörgy	3,367	68,6	4706	1,48	4,26
25.	Boba-Ukk	6,139	65,6	4303	0,8616	4,39
26.	Ukk-Uzsa	3,912	63,9	4083	0,8616	7,27
27.	Uzsa-Lesencetomaj	3,418	62,2	3869	0,8616	8,78
28.	Szabadhattyán-Balatonfüred	5,645	68,0	4624	0,8616	4,45
29.	Balatonfüred-Tapolca	4,949	67,8	4597	0,8616	5,10

I. / 5 ábra.

II. Az entrópia értelmezései

Az 5. fejezetben utaltam arra, hogy az entrópia értelmezése és általánosítása terén még nem alakult ki az egységes definíció. Ennek szemléltetésére néhány közhasznú ismertető munkában szereplő magyarázatot gyűjtöttem ki.

- Akadémiai Kislexikon
Akadémiai Kiadó 1989

Termodinamikai extenzív mennyiség; az anyagi rendszerek rendezetlenségének, ill. termodinamikai valószínűségének mértéke. R. Clusius vezette le (1865); a rendszer állapotának termodinamikai valószínűsége (W) és entrópiája (S) közötti $S = k \ln W$ összefüggést L. Boltzmann állapította meg (1877). A termodinamika II. főtétele szerint zárt rendszerben csak olyan folyamatok mennek önként végbe, melyek során az entrópia nő.

- Magyar Értelmező Szótár
Akadémiai Kiadó 1989

1. Az atomok és molekulák rendezetlen mozgásának mértéke, melyből következtethetünk a folyamatok irányára.
2. A bizonytalanságnak az információk növekedésével csökkenő mértéke. (Távk.)

- Idegen Szavak és Kifejezések Szótára
Akadémiai Kiadó 1989

Termodinamikai állapotfüggvény: 1. az energia átalakulási képességének jellemzője, ill. anyagi rendszerekre vonatkoztatva: állapotok termodinamikai valószínűségének mértéke, amelyből bizonyos körülmények között következtetni lehet a folyamatok irányára. - 3. a bizonytalanságnak a kapott információval csökkenő arányszáma.

- Magyar Larousse
Akadémiai Kiadó 1991

Termodinamikai fogalom, amely egy rendszer energiájának rendezetlenségi fokát és hasznosíthatatlanságát jellemzi. Bizonyos körülmények között következtetni lehet belőle a folyamatok irányára. Kommunikációelméletben az a mennyiség, amely méri, hogy mennyire változik a bizonytalanság egy üzenet vétele által. Ha az entrópia nulla, akkor nincs bizonytalanság.

- Természettudományi Kislexikon
Akadémiai Kiadó 1971

Entrópia S: anyagi rendszer termodinamikai állapotát jellemző függvény (állapotfüggvény). Segítségével megfogalmazhatók és matematikai alakban írhatók olyan törvények, amelyekből megállapítható egy magára hagyott rendszer állapotváltozásának iránya és egyensúlyi állapotának feltétele. - Arányos a vizsgált állapot termodinamikai valószínűségével.

- Tolnai új Világlexikona
1926

Az anyagi testek belső energiájának az a része, amely hőfolyamatok révén nem alakul át munkává, megmarad hőnek és a hűtő felmelegítésére fordítódik. Az energia hatástalanságának fokát jelenti.

- Műszaki Lexikon
Akadémiai Kiadó 1970

Entrópia:

1. termodinamikai állapotfüggvény, amelynek változásából a folyamatok megfordíthatóságára lehet következtetni. Az ν egysége a clausius = 1 kcal/kg fok. Az ν matematikai kifejezése a termodinamika első főtételének teljes differenciállá való átalakításával:

$$ds = \frac{dQ}{T} .$$

Az ν ról mint állapotfüggvényről kimondható: zárt rendszer entrópiája meg nem fordítható folyamatoknál nő; megfordítható folyamatnál nem változik. Technikai számításoknál az ν abszolút értéke nem döntő csak annak változása, így sok esetben az ν értékét a 0° hőmérséklettől számolják. (-> még *entrópia-diagramok*) -

2. -> *információelméleti* alapfogalom, melyet a boltzmanni statisztikus gázelmélet ν fogalmának, a gázmolekulák rendezetlensége mértékének analógiájára alkottak. Az ν véges v. megszámlálható kimenetű események meghatározatlanságának mértéke. Ha egy esemény N -féleképpen következhet be (kockadobáskor $N = 6$), ν -ja: $H = \log N$. Ha az esemény csak egyféleképpen következhet be (biztos, hogy mindig ugyanarra a lapra esik a kocka), az ν zérus, ha minden lehetőség egyenlő valószínűségű, az ν maximális. Az ν fogalma alkalmas egy információforrás v. adatátvitel viszonyainak számítására, ha az egymás után leadott információk ν -ja nem maximális, tehát valamilyen rendszer van már eleve az egyes kódok között, az információ redundáns, fölöslegesen bőséges. Ezt a redundanciát lehet az átvitel hibáinak kiküszöbölésére fordítani és így az információforrás ν -jából és az átvitel viszonyaiból legjobb, leggazdaságosabb átviteli módot, sebességet számítani.

Az \sim föl mint állapotfüggvényről kimondható: zárt
 rendszer entropiája meg nem fordítható folyamatoknál
 nő; megfordítható folyamatnál nem változik. Technikai
 számításoknál az \sim abszolút értéke nem döntő csak annak
 változása, így sok esetben az \sim értéket a 0° hőmérsék-
 leltől számolják. (-> még entropia-diagramok)
 2. -> Információtelméleti alapfogalom, melyet a
 boltzmanni statisztikus gázelmélet \sim fogalmának, a
 gázmozgások rendezetlensége mértékének analógiájára
 alkotnak. Az \sim véges v. megszámlálható kimenetű ese-
 mények meghatározatlanságának mértéke. Ha egy esemény
 N-féleképpen következhet be (kockadobáskor $N = 6$), \sim ja:
 $H = \log N$. Ha az esemény csak egyféleképpen következhet
 be (biztos, hogy mindig ugyanarra a lapra esik a koc-
 ka), az \sim zérus, ha minden lehetőség egyenlő valószí-
 nűséggel, az \sim maximális. Az \sim fogalma alkalmas egy in-
 formációtartás v. adatátviteli viszonyoknak számítására,
 ha az egymás után leadott információk \sim ja nem maximá-
 lis, tehát valamilyen rendszer van már előre az egyes
 kódok között, az információ redundáns, fölöslegesen
 bőbeszédű. Ezt a redundanciát lehet az átviteli hibák
 kiküszöbölésére fordítani és így az információtartás
 \sim jából és az átviteli viszonyairól legjobban leggyakrab-
 ban átviteli módot, sebességet számítani.

MAGYAR
 TUDOMÁNYOS AKADÉMIA
 KÖNYVTÁRA