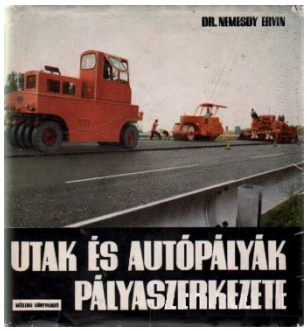
DR. NEMESDY ERVIN: **UTAK ÉS AUTÓPÁLYÁK PÁLYASZERKEZETE - Technológia – Építés**
MŰSZAKI KÖNYVKIADÓ – BUDAPEST, 1971; o590



A szerzői jog tulajdonosainak engedélyével.

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

RÉSZLETES TARTALOMJEGYZÉK

9. MATEMATIKAI STATISZTIKAI MÓDSZEREK ÉS GYÁRTÁSELLENŐRZÉS ALKALMAZÁSA AZ ÚTÉPÍTÉSBEN 549
9.1 Az útépítési minőségellenőrzés és a matematikai statisztika kapcsolata 549
9.1.1 Az útépítési minőségellenőrzés néhány fontos elvi kérdése 549
9.1.2 A matematikai statisztika útépítési alkalmazásának lehetőségei és korlátai 550
9.2 Véletlen és nem véletlen jellegű ingadozások az útépítés minőségi jellemzőiben 551
9.2.1 Minőségi jellemzők véletlen ingadozásai normál eloszlás szerint 551
9.2.2 A kétoldali korlátozású minőségi jellemzők (pl. bitumentartalom) előírásainak problémája 553
9.2.3 Az egyoldali korlátozású minőségi jellemzők (pl. betonszilárdság) előírásainak problémája 554

9. Matematikai statisztikai módszerek és gyártásellenőrzés alkalmazása az útépítésben

9.1. AZ ÚTÉPÍTÉSI GYÁRTÁS-ELLENŐRZÉS ÉS A MATEMATIKAI STATISZTIKA KAPCSOLATA

9.1.1. Az útépítési minőségellenőrzés néhány fontos elvi kérdése

Az útépítések minőségének egyik alapvető feltétele az építtető és a kivitelező közötti szerződéses jogviszony és a gazdasági elkülönültség. Az átadás—átvételi eljárás során a kivitelezőnek hiteles mérések jegyzőkönyveivel kell bizonyítania, hogy az elkészült útszakasz megfelel a szerződésben vállalt műszaki minőségi jellemzők értékhatárainak. Ha ezt nem teljesíti, akkor a szerződés, ill. döntőbírósági döntés alapján a hibák nagyságával jogilag arányos levonást szenved a kivitelező. A minőségi levonások jelentősége nemcsak a levonás nagyságában van, hanem az építő vállalat értékeléséhez is hozzájárul. Ez azonban csak akkor jelentős, ha az útépítési piacon a kínálat nagyobb, mint a kivitelező kapacitás iránti kereslet. Fordított esetben elképzelhető, hogy a kivitelező vállalat szűk gazdasági érdeke inkább elviselhetővé teszi a minőségi levonást az átadás—átvétel után, ha viszont építés közben a minőségcsökkenésből jelentősebb önköltségcsökkenésre és megtakarításra tett szert. Ilyen okok miatt feltétlenül szükséges, hogy a minőség ellenőrzése az építtető ellenőrei részéről is megbízható módon lehetséges legyen.

Ugyanakkor a kivitelező vállalatok legtöbbje valóban mindent igyekszik megtenni a jó minőségű kivitelezés érdekében, mivel erre mind érezhetőbb gazdasági ösztönzők, a mérnöki öntudat, és a kivitelező vállalat tekintélye is szorítja. A jó minőség viszont igen sokszor nagy nehézségek legyőzését igényli a szervezés, anyagminőség, műszaki felkészültség, sőt emberi helytállás vonatkozásában. Éppen ezért a kivitelező vállalatnak is feltétlen érdeke az, hogy az elkészült út minőségének ellenőrzése, ill. bizonyítása valóban megbízhatóan lehetséges legyen.

A kivitelező vállalatok és az építtetők minőségellenőrzési problémái és nehézségei elég hasonlóan jelentkeztek számos külföldi államban és nálunk is. Hogy az ezzel kapcsolatos viták számos államban és hazánkban is felélénkültek az elmúlt fél évtizedben, annak az a következménye, hogy az útépítési teljesítmények általában rendkívül megnövekedtek, új műszaki eljárások terjedtek el, és az útépítési termelés számos vonatkozásban megközelítette a nagyüzemi jelleget. Főként a nagyobb földmunkaépítések, a nagyobb pályaszerkezetépítések, a nagyobb aszfaltkeverő-telepek, betonkeverő-telepek esetében honosodtak meg a nagyüzemi termelési módszerek.

Ha ilyen körülmények között az építtető a minőség ellenőrzését elsősorban utólagos ellenőrzések során, és főleg az átadás—átvételi eljárás alkalmával végzik, akkor nagy tömegű anyag beépítése után nincs gyakorlati mód a hibás vagy csökkent minőségű szakasz teljes cseréjére. Ehelyett két lehetősége marad az építtetőnek: vagy elfogadja a középszerű minőséget és minőségi levonással és a kivitelezővel szemben, vagy pedig elfogadja kötbér nélkül. A megállapítható és levonható kötbér összege ugyanis rendszerint nem nagy jelentőségű az építtető számára, nem jelent neki megtakarítást, inkább a jó minőséget fizetné ki.

A kivitelező részére az utólagos minőségi ellenőrzés módszere azért lehet hátrányos és bizonytalan, mert egyrészt a nagy adatfelvétel rendkívüli hirtelen megterhelést jelent, másrészt azonban többnyire csak szúrópróba-szerű utólagos ellenőrzést lehet tartani. Az ilyen minták valóban reprezentatív volta azonban igen kétséges, és ezért sokszor adódnak igen kellemetlen és nehezen eldönthető minőségi viták.

Az utólagos ellenőrzés módszerének széles körű alkalmazását főleg az a körülmény segíti, hogy számos minőségi vizsgálat körülményes, ill. sokszor csak nagy időbeli késéssel értékelhető ki (pl. 28 napos betonszilárdság), amikor az ellenőrzési eredménynek már csak utólagos jogi jelentősége van.

Kétségtelen, hogy az építtető ellenőrző mérnökei építés közben is látogatják a munkahelyet és a keverőtelepet, munkájukat azonban általában — a legtöbb országban egyaránt —

a korlátozott rendszerességet és csak a feltűnő hibákkal, nagy nehézségekkel való foglalkozás jellemzi.

A *korszerű, nagyüzemi minőségellenőrzés* az útépítésben ezzel szemben alapvetően az *építés közbeni folyamatos gyártásellenőrzést* teszi a középpontba, s ha ez kielégítő módon folyik, akkor az utólagos ellenőrzés nehézsége, bizonytalansága erősen csökken. A döntő jelentőségű előny azonban elsősorban abban áll, hogy a jó minőségtől való kezdeti eltérést az építés során azonnal, rövid időn belül észlelni lehet, és így mód van a hibák javítására, ill. megszüntetésére a további termelés, építés során.

Az ilyen építés közbeni, folyamatos minőségellenőrzésnek két jellegzetes elvi eltérése van a régebbi, utólagos ellenőrzési módszerektől:

a) Ezt az építés közbeni ellenőrzést a kivitelező vállalat maga végzi folyamatosan a munkahelyi laboratóriumában az építtető ellenőrének rendszeres ellenőrzése mellett; így a munkafolyamat minőségi oldala teljesen nyílt, és a kivitelező és építtető tudatosabb együttműködését eredményezi.

b) A minőségellenőrzés rendszerességének és hatékonyságának az alapja a *matematikai statisztikai módszerek* következetes alkalmazása, a gyáriparban már régóta kialakult és bevált minőségellenőrzési, gyártásellenőrzési módszerek bevezetése révén.

9.1.2. A matematikai statisztika útépítési alkalmazásának lehetőségei és korlátai

Már elöljáróban foglaljuk össze: mire képes, mit adhat az útépítés számára a matematikai statisztika, és mit nem lehet tőle várni.

Először is tisztázható, hogy a dolog természete szerint szóródást mutató minőségi jellemző esetében *hogy lehet a választott, a szükséges minőségi szintet helyesen megszabni*, egyrészt az átlagérték helyzetének megkötésével, másrészt a szórás korlátozásával, majd a valószínűségi szint (kockázat) százalékos megkötésével.

Másodszor tisztázni lehet, hogy az *átvétel során milyen valószínűséggel és kockázattal* lehet *dönteni* attól függően, hogy a rendelkezésre álló minták, mérések, ill. adatok száma mekkora. Fordítva pedig: tisztázni lehet, hogy *milyen számú mérésre, ill. adatra, mintára van szükség ahhoz*, hogy *a kívánt* (pl. 95 vagy 99%-os) *biztonsággal* lehessen eldönteni; kielégítő vagy nem a minták által reprezentált burkolat, szerkezeti réteg, földmunka (stb.) minősége.

Lehetőség adódik arra, hogy az építés folyamán, a *keverőtelepen és a beépítés helyén az állandó minőségellenőrzést* a kivitelező a saját maga részére olyan módon szervezze meg, hogy a kontrollkártyákon áttekinthetően vezetett adatok alapján állandóan ellenőrizhesse a minőségi jellemző (bitumentartalom, szilárdság stb.) átlagértékének és szórásának alakulását, s adott százalékos biztonsággal azonnal közbe tudjon lépni a keverőtelepen vagy a beépítés során, ha az átlag vagy a szórás nagysága a kedvezőtlen irányban mozdult el. A kontrollkártyák időben és gyorsan megmutatják, hogy az állandóan változó vizsgált jellemző szóródása az ellenőrzött határon belül normális jellegű vagy már egy új, eltérítő hatás jelentkezik. (Pl. az adalék szemeloszlásának megváltozása, a bitumenszivattyú vagy vezeték hibája, az adagolóberendezés eltömődése stb.) Viszonylag hamar nyílik tehát lehetőség a módosító közbelépésre.

Az útépítések minőségének javítása az átvételi vizsgálat *előtti* ténykedéssel, a matematikai statisztikai kontrollkártyákkal ellenőrzés alatt tartott munkamenettel megy végbe. Az ellenőrzést a kivitelező vállalat *saját maga* szervezi meg és végzi azért, hogy az átvétel során a kellő megbízhatósági szinten végzett átvételi minőségi vizsgálatok eredményei valóban kifogástalanok, ill. előre megállapított biztonsági százalékon belüli értékűek legyenek.

A megbízható *átvételi vizsgálatrendszer* és a megbízható *gyártás közbeni minőségkontroll* összefügg egymással, annak ellenére, hogy az egyiket a beruházó, a másikat pedig a kivitelező vállalat végzi. A kivitelező ugyanis csak akkor szánja el magát a gyártás közbeni kontrollkártyás minőségellenőrzés bevezetésére, ha ezzel megőrzi a minőséget és az átvétel során nem kerül az átvételi rendszer nagy bizonytalanságú útvesztőjébe. Másrészt a mégoly megbízható átvételi minőségellenőrzés sem ér népgazdasági szempontból sokat, ha a hibát utólagosan állapítják meg, amikor a hiba már egyáltalán nem vagy csak alig javítható. Az árlevonások ugyanis egy töredékét fedezik az okozott minőségi kárnak. A népgazdaság jó és tartós utat kíván, nem pedig az egyik zsebéből a másikba vándorolt, nem is túl nagy összegű levonásokat. Ezért kell a rendszeres gyártás közbeni, kontrollkártyás minőségi ellenőrzés bevezetését elősegíteni a nagyobb munkahelyeken. Ez közös anyagi érdeke mind a beruházónak, mind a kivitelezőnek, mind pedig a népgazdaságnak.

Mit nem várhatunk a matematikai statisztikától?

Nem várhatjuk azt, hogy valamely rossz minőségű, vagy hibás burkolatról kimutassa, hogy az kielégítő minőségű. Szintén nem várhatjuk, hogy kevés számú mintavétel és vizsgálatsorozat alapján bármilyen mesterkedéssel is megbízható és igazságos döntésre adjon alapot. Végül a matematikai statisztika elmulasztott vagy elő nem írt mintavételt, el nem végzett vizsgálatot és mérést *nem tud pótolni*.

9.2. VÉLETLEN ÉS NEM VÉLETLEN JELLEGŰ INGADOZÁSOK AZ ÚTÉPÍTÉS MINŐSÉGI JELLEMZŐIBEN

9.2.1. Minőségi jellemzők véletlen ingadozásai normál eloszlás szerint

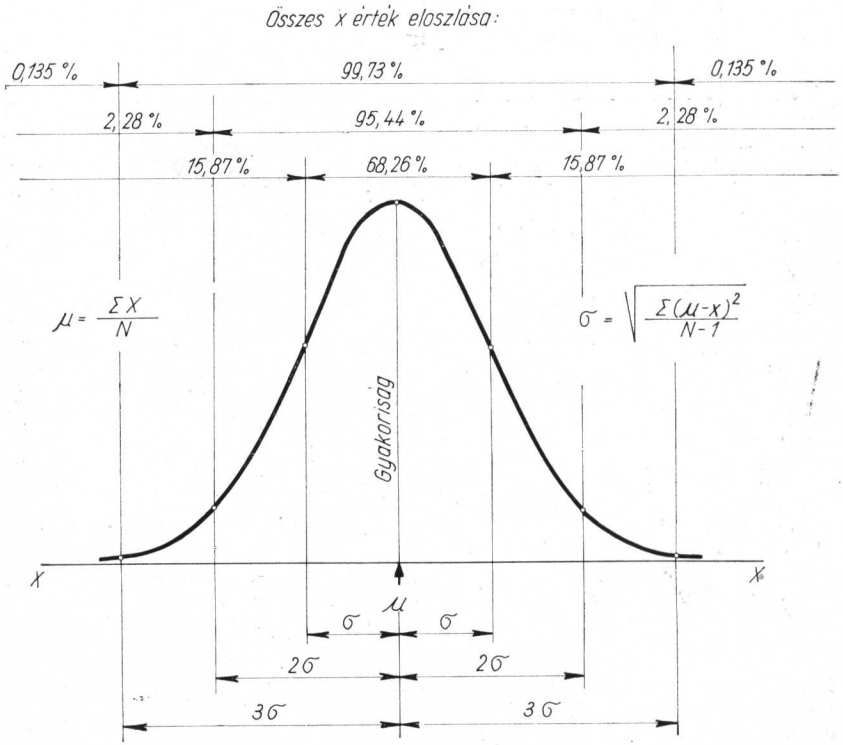
A burkolat minőségét jelenleg egy sor minőségi jellemző vizsgálatával ítéljük meg: bitumentartalom, töltőanyag- és zúzaléktartalom, tömörség, vízfelvétel, a cementbeton szilárdsága stb. Ezen értékek még a legszigorúbb és legkorszerűbb technológiával dolgozó munkahelyen is állandó ingadozást mutatnak. A véletlenszerű ingadozást esetleg csökkenteni lehet, de megszüntetése lehetetlen, mert a keverőtelep gépeinek működésében mindig vannak véletlenszerű kis eltérések (az automatikus mérlegek működésében is van pár % hiba, az adagolás sem mindig azonos, a kötőanyag-szivattyúban is lehet kis nyomásingadozás stb.). Ezenkívül az adalékanyag szemeloszlása a legjobb anyag esetén is változik. Mindezen sok kis hiba, eltérés, ingadozás véletlen eredőjeként szinte tövényszerű ingadozás jelentkezik a kész keverék egy-egy jellemzőjében, pl. a kötőanyag-tartalomban, amely így mindig eltér az előírt pontos értéktől.

A matematikai statisztika szerint olyankor, ha egy változó nagyságú mennyiséget (pl. kötőanyag-tartalmat) valójában sok, szintén változó kisebb ok és tényező eredőjeként foghatunk fel, akkor — bármilyen is legyen a sok kisebb ok és tényező saját eloszlásának jellege — az eredőként adódó változó x mennyiség ingadozása az ún. *normális eloszlásnak* felel meg. Ezt a 9-1. ábrán látható ismert Gauss-féle haranggörbe jellemzi. Ez a legfontosabb fajta eloszlás két paraméterrel, két adattal jellemezhető: a μ *középérték* és a σ *szórás* értékével. A μ *középérték* a figyelt változó x mennyiség összes előforduló értékének a számtani átlaga, középértéke. A σ szórás pedig egy jellegzetes eltérés, jellegzetes hibanagyság, amelyet úgy kapunk meg, hogy az egyes előforduló x értékek és a μ középérték (átlagérték) különbségét négyzetre emeljük (ezzel a különbségek előjele eltűnik), s ezen különbségértékek négyzeteinek képezzük az átlagértékét. Ez a σ^2 *szórásnégyzet*, ennek négyzetgyöke pedig a σ *szórás*. (Nevezik az előbbiek miatt *négyzetes eltérésnek* is.)

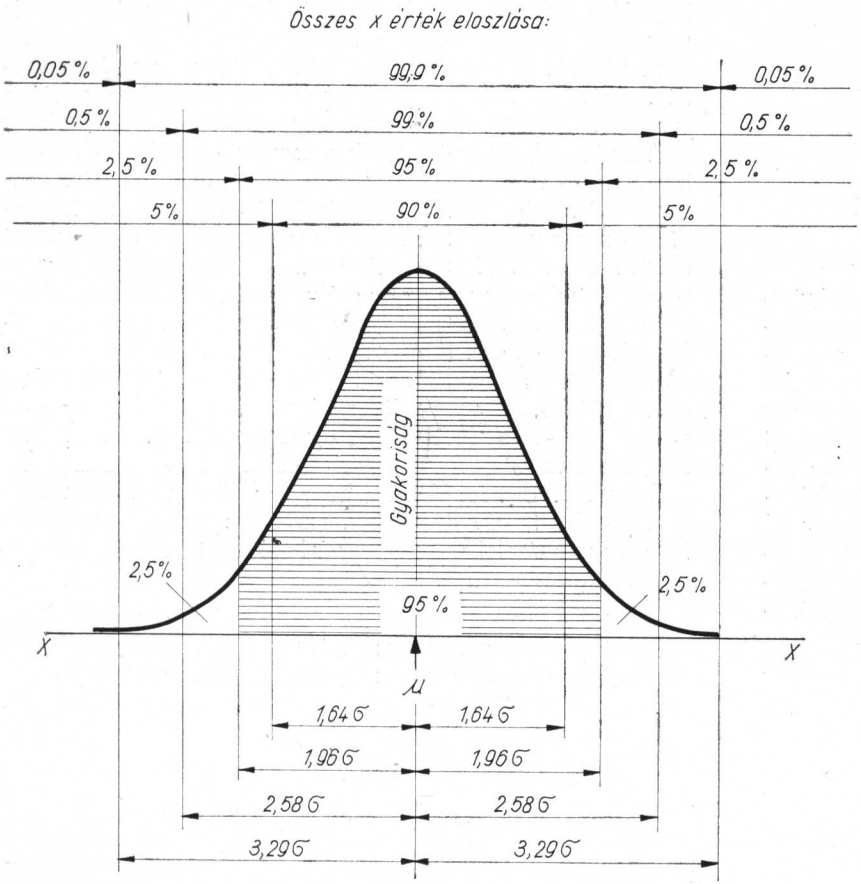
Tegyük fel, hogy ismerjük valamely — véletlen szerint ingadozó — normális eloszlású változó (pl. $x = B\%$ bitumentartalom) meghatározott időszak alatti változásának μ középértékét és σ szórását. Ekkor már meg tudjuk azt is mondani a 9-1. ábrán látható haranggörbe alapján, hogy a középértéktől való kisebb vagy nagyobb eltérés milyen (hány százalékos) valószínűséggel várható, azaz az összes esetek hány százalékában fordulhat elő. A σ szórásnál tehát jóval nagyobb hibák, eltérések is lehetnek, de ezek előfordulásának valószínűsége egyre kisebb, s ezek előfordulásának várható százalékos arányát, $S\%$-ot a Gauss-görbe egyenletéből, ill. táblázatából meg lehet kapni.

Így a 9-1. ábrából látható, hogy a μ középértékből számított $\mu \pm \lambda\sigma$ intervallumokban az összes előforduló esetek következő százalékarányában várható az ingadozó értékek előfordulása:

a $\mu \pm 1\sigma$ intervallumban: az összes érték $S = 68{,}26\%$-a,
a $\mu \pm 2\sigma$ intervallumban: az összes érték $S = 95{,}44\%$-a,
a $\mu \pm 3\sigma$ intervallumban: az összes érték $S = 99{,}73\%$-a.



9-1. ábra. A normális eloszlás harang alakú gyakoriségi görbéjének két fő meghatározó adata: a μ középérték és a σ szórás



9-2. ábra. A 90, 95, 99, 99,9% kétoldali valószínűségnek megfelelő határok a középérték körül, normál eloszlás esetén

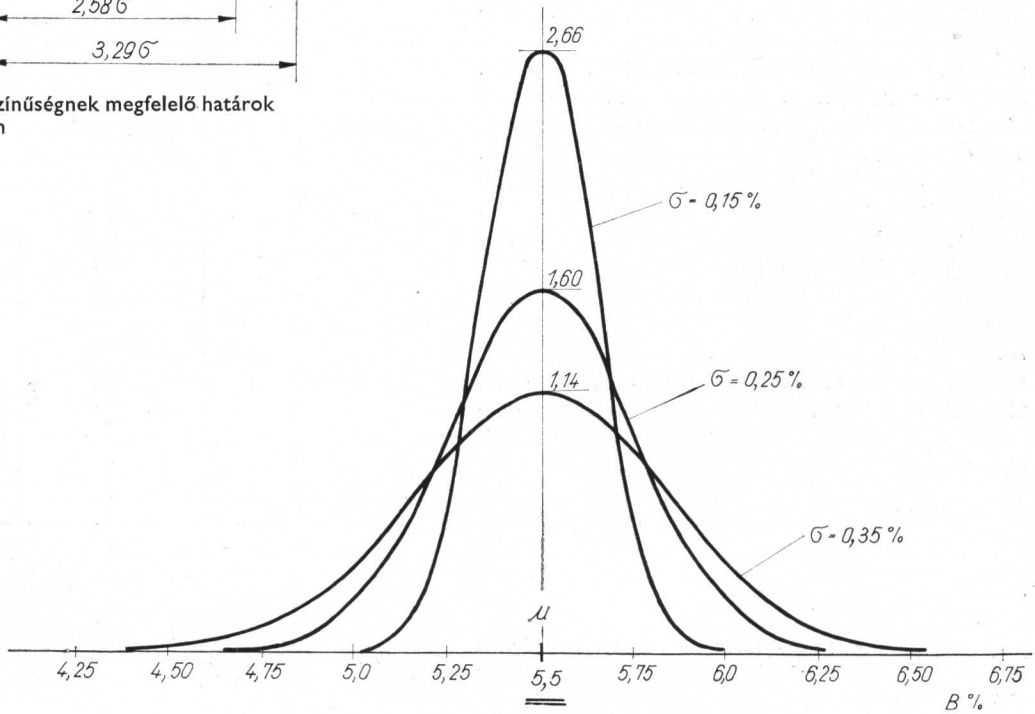
Ez annyit jelent, hogy ezen intervallumokon kívül csupán az összes esetek (100—S), azaz 31,74; 4,56; 0,27%-a esik.

Sokszor az S% valószínűséget írjuk elő, hogy az előforduló értékek $\mu \pm \lambda\sigma$ intervallumon belül ingadozzanak (9-2. ábra). A normál eloszlásban az előforduló ingadozó értékek:

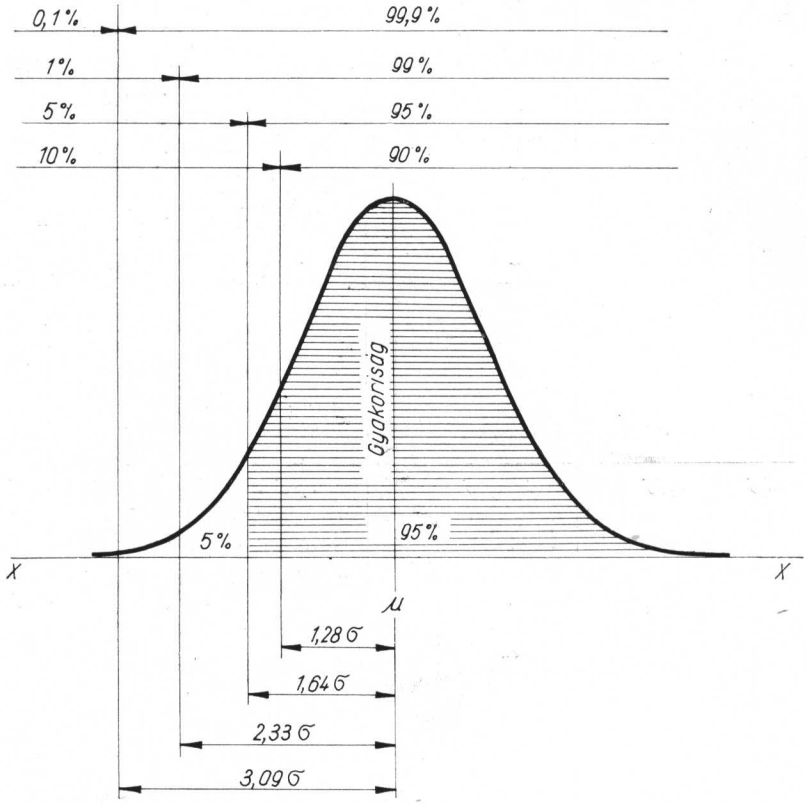
90%-a belül, 10%-a kívül marad:
$\mu \pm 1{,}64\sigma$ esetén,
95%-a belül, 5%-a kívül marad:
$\mu \pm 1{,}96\sigma$ esetén,
99%-a belül, 1%-a kívül marad:
$\mu \pm 2{,}58\sigma$ esetén,
99,9%-a belül, 0,1%-a kívül marad:
$\mu \pm 3{,}29\sigma$ esetén.

Lényeges tehát, hogy az értékek ingadozása a középérték körül viszonylag nagy vagy kicsi σ szórású, mert az egész eloszlás szűk vagy szétterülő volta ettől függ. Ezért fontos jellemző a szórás és a középérték hányadosa százalékban, az ún. *variációs koefficiens:* $v\% = 100\ (\sigma/\mu)$.

A 9-3. ábrában eloszlási görbéket látunk különböző szórásértékek esetén. Pl. $\sigma = 0{,}15\%$ esetén



9-3. ábra. Bitumentartalom ingadozása $\mu = B = 5{,}5\%$ középértékkel, $\sigma = 0{,}15 \ldots 0{,}25 \ldots 0{,}35\%$ szórás mellett



9-4. ábra. A 90, 95, 99, 99,9% egyoldali valószínűségnek megfelelő határok a középértéktől számítva, a normál eloszlás esetében

a szóródás szűk tartományban marad, az ingadozás a középérték felé tömörül (bitumentartalom a szóródás szempontjából kiváló), amíg $\sigma = 0{,}25\%$ esetén kielégítő, végül $\sigma = 0{,}35\%$ esetén már nagy szóródás, ellapuló eloszlási görbe adódik (pl. a bitumentartalom nagyon változó, még ha az átlagérték megfelelő is).

Eddig az ingadozás mindkét iránya érdekelt bennünket. Például a bitumentartalom esetében rossz az is, ha túl kevés vagy ha túl sok van a keverékben. Ezt az esetet a *kétoldali kérdésfeltevés* esetének nevezhetjük.

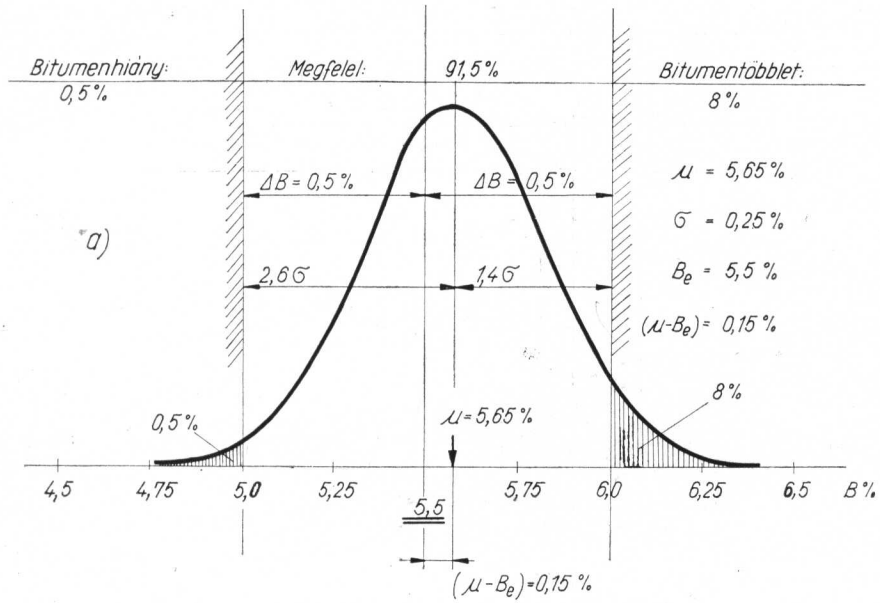
Egyoldali kérdésfeltevésről beszélünk akkor, ha csak az érdekel bennünket, hogy egy mennyiség (pl. betonszilárdság) ingadozása átlép-e egy minimális határértéket. Ekkor a normális eloszlás görbéjének csak egyik fele érdekel bennünket, s ekkor a határérték és a μ középérték közötti $\lambda\sigma$ távolságkülönbség jellemzi azt, hogy az összes előforduló esetek hány %-ában várható a nem kielégítő (határértéken alul maradó) és a kielégítő (azaz a határértéknek megfelelő) esetek előfordulása. Így a normális eloszlás esetén a 9-4. ábrának megfelelően:

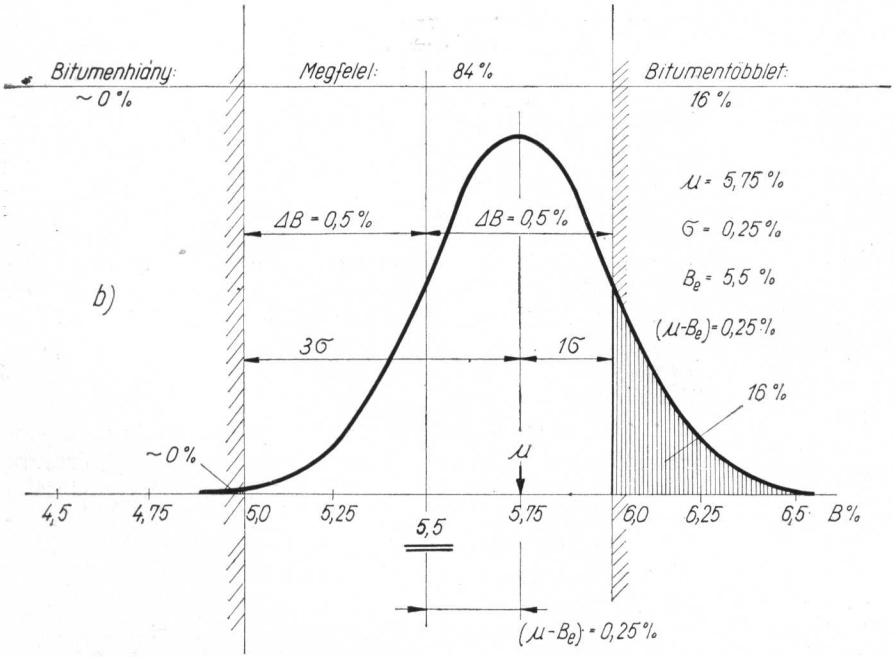
10% alulmarad, 90% megfelelő: $(\mu - 1{,}28\sigma)$ érték felett,
5% alulmarad, 95% megfelelő: $(\mu - 1{,}64\sigma)$ érték felett,
1% alulmarad, 99% megfelelő: $(\mu - 2{,}33\sigma)$ érték felett,
0,1% alulmarad, 99,9% megfelelő: $(\mu - 3{,}09\sigma)$ érték felett.

A 9-2. és a 9-4. ábrából jól látjuk, hogy az eloszlási haranggörbe alatti terület nagysága az egység, ill. 100%, amely a $(\mu \pm \lambda\sigma)$ intervallumoknak megfelelően a fent adott százalékoknak megfelelően osztódik szét 3, ill. 2 részre.

9.2.2. A kétoldali korlátozású minőségi jellemzők (pl. bitumentartalom) előírásainak problémája

Az előbbi — eléggé alapfogalomszerű — ismeretek alapján felmerülhet a kérdés, hogyan értelmezhető valójában az olyan előírás, amely szerint „a szükséges bitumentartalom értéke pl. 5,5%, a megengedett eltérés (hibahatár) $\pm 0{,}5\%$. Ha a kivett minta bitumentartalma $B = 5{,}0\%$-nál kisebb és a 6,0%-nál nagyobb, a burkolat minden esetben hibás". A külföldi tapasztalat szerint kétségtelen, hogy a keverőtelep gépeinek minősége és az adalékanyag szemeloszlás-változása miatt a legjobb esetben sem lehet (még az ideális $\mu = B = 5{,}5\%$ helyes középérték esetében sem). $\sigma = 0{,}25\%$ szórásnál kisebbet elérni a bitumentartalom ingadozásában [14, 16]. A $\pm 0{,}5\%$ határérték esetében: $0{,}5 = \lambda\sigma = \lambda \cdot 0{,}25$, innen $\lambda = 2{,}0$. Ennél a kétoldali kérdésfeltevésnél az előbbiek szerint az $S = 95{,}4\%$ és $(100 - S) = 4{,}6\%$ felel meg. Ezért a bitumentartalom az eseteknek legalább 4...5%-ában kívül *kell* essen a $\pm 0{,}5\%$ határon. A keverőgépben azonban a bitumenadagolás középértékét sem lehet tökéletesen $\mu = B\%$ értékre beállítani. A középérték a tapasztalat szerint a leggondosabb beállítás mellett is [14, 16] legalább $|\mu - B\%| = 0{,}15\%$ értékkel eltér az előírt elméleti $B\%$ bitumenszükséglettől. Ehhez jön még a normális eloszlás szerinti ingadozás a $\sigma = 0{,}25\%$ minimális szórással. Így most az aszimmetria miatt a két egyoldali kérdésfeltevéssel számolva a 9-5. ábra szerint: a $\pm 0{,}5\%$ határoknál $0{,}35 = \lambda_1\sigma = \lambda_1 \cdot 0{,}25$ és $0{,}65 = \lambda_2\sigma = \lambda_2 \cdot 0{,}25$ esetén $\lambda_1 = 1{,}4$ és $\lambda_2 = 8{,}6$ adódik. Ezeknek — főleg a $\lambda_1 = 1{,}4$ miatt — $S = 92\%$ és $(100 - S) = 8\%$ felel meg.





9-5. ábra. A $B\%$ bitumentartalom eloszlása $\sigma = 0{,}25\%$ gondos munkát jelző szórás 0,15 és 0,25% középérték-eltérés mellett, $\Delta B = \pm 0{,}5\%$ tűréshatárokkal. Gondosan üzemeltetett keverőtelepeken is várható a $\pm 0{,}5\%$ tűrés mellet a 8...16% arányú túllépés

Ezek szerint tehát a gondosan beállított és üzemeltetett aszfaltkeverő-telepeken is arra lehet számítani, hogy az elképzelhető aszfaltminták sokaságának 8%-ában túllépik az előírt ($B\% \pm 0{,}5\%$) bitumentartalmat. Ha azonban a középértéket nem sikerül 0,15%-ra, hanem a kívánt $B\%$ mellé csak 0,25%-ra beállítani, akkor már a legszigorúbb szórás, tehát nagy gyártásegyenletesség mellett is csak $S = 84\%$ arányban tarthatók be a határok, és $(100 - S) = 16\%$ arányban lesznek a ($B\% \pm 0{,}5\%$) határon kívül eső keverékfajták.

Ezért sokkal helyesebb, és a gyártás közbeni minőség ellenőrzését is jobban elősegítő szabályozás az lenne, ha $(B \pm \Delta B)\%$ típusú szabályozás helyett inkább a $|\mu - B_{max.}|$ *megengedett középérték-eltérést*, valamint a $\sigma_{max.}$ *megengedett legnagyobb szórás* értékét szabnák meg az előírások.

9.2.3. Az egyoldali korlátozású minőségi jellemzők (pl. betonszilárdság) előírásainak problémája

Az egyoldali kérdésfeltevés esete a megkövetelt minimális jellemző, pl. a cementbeton-burkolat előírt minimális szilárdságának értelmezése. Ilyen előírás pl. a következő: „a húzószilárdság nem lehet egy megadott, pl. 45 kp/cm² értéknél kisebb". Ezen előírás esetében — a 9-6. ábrának megfelelően — a betonkeverő-telepen olyan μ_a kp/cm² középértékszilárdságot kell létrehozni, amely $z = \lambda\sigma$ szilárdságkülönbséggel nagyobb, mint az előírt, pl. 45 kp/cm² minimális szilárdság. Ezt a z kp/cm² értéket *előretartásnak* nevezhetjük.

Az előretartás nagysága részben gazdasági, részben technikai kérdés, mert túl nagy előretartást megbízhatóan tartani költséges és néha nehezen valósítható meg. Mitől függ tehát a szükséges előretartás?

A $z = \lambda\sigma$ összefüggésnek megfelelően először is a λ tényezőtől, amelyet az határoz meg, mekkora S biztonságot, ill. $(100 - S)$ kockázatot kívánunk tartani. A 9-6. ábra a $\sigma = 5$ és 10 kp/cm² kis és nagy szórásnak megfelelő előretartással szemlélteti a húzószilárdság szóródását jellemző normális eloszlásgörbéket. A fenti S értékekben az

előbbiek szerint egyoldali kérdésfeltevésnél $\lambda = 1{,}64$, valamint 2,33, ill. 3,09 értékek adódnak. Ez azt jelenti, hogy kis szóródással, egyenletes jó minőségű betont gyártó keverőtelepen $\lambda\sigma = 8{,}2$ és 19,6, 11,6 valamint 15 kp/cm² értékkel nagyobb kell, hogy legyen a μ átlagos közép-betonszilárdság, mint az előírt minimális határ. Ugyanezen $\lambda\sigma$ értékek a nagy szórású, egyenlőtlen minőségű betont gyártó keverőtelepen pedig 16,4 és 23,3, ill. 30,9 kp/cm². Mindez már jól rámutat a másik tényező, a *szórás* nagyságának jelentőségére is.

Így tehát *egyenletes, jó betont gyártó keverőtelepen*, ahol a szórás $\sigma = 5$ kp/cm², ott:

95% biztonsággal, 5% hibalehetőség esetén:
$= 45 + 8{,}2 = 53{,}2$ kp/cm²;

99% biztonsággal, 1% hibalehetőség esetén:
$= 45 + 11{,}6 = 56{,}6$ kp/cm²;

99,9% biztonsággal, 0,1% hibalehetőség esetén:
$= 45 + 15 = 60{,}0$ kp/cm²

*átlag*szilárdságú betont kell előállítani.

Ezzel szemben kevésbé egyenletes minőségű betont gyártó keverőtelepen, ahol a szórás nagy, $\sigma = 10$ kp/cm², ott:

95% biztonsággal, 5% hibalehetőség esetén:
$= 45 + 16{,}4 = 61{,}4$ kp/cm²;

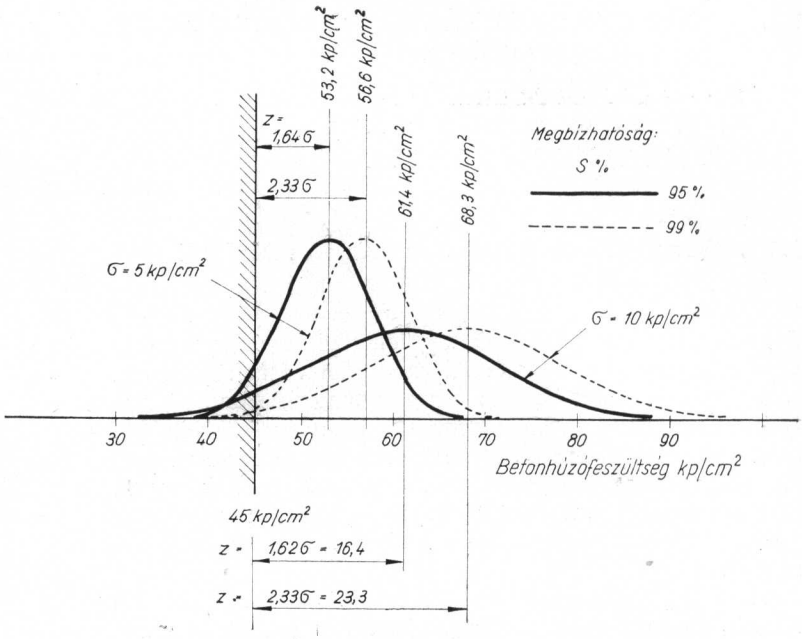
99% biztonsággal, 1% hibalehetőség esetén:
$= 45 + 23{,}3 = 68{,}3$ kp/cm²;

99,9% biztonsággal, 0,1% hibalehetőség esetén:
$= 45 + 30{,}9 = 75{,}9$ kp/cm²

átlagszilárdságú betont kellene előállítani, hogy a 45 kp/cm² előírt minimális húzószilárdságot az említett biztonsági szinteken be lehessen tartani.

Nyilvánvaló, hogy a nagy szilárdságszórású keverőtelep nem fogja tudni létrehozni a magasra adódó *átlag*szilárdságokat, és ezért a minimális szilárdságot sem fogja betartani. Ha a keverőtelep egyenletes, jó minőségű betont készít kis szilárdságszórással, akkor is jelentős, hogy hány % hibalehetőséget engedünk meg. Rá kell mutatnunk arra, hogy az általában kitűnő betonutakat készítő NSZK-ban elegendőnek tartanak 95% biztonságot és megengednek 5% hibalehetőséget. Ugyanakkor pl. a csehszlovák szabvány 99% biztonságot és csak 1% hibalehetőséget ír elő. Ennél tovább semmiképpen sem volna helyes menni.

A szükséges útbeton-szilárdsági követelmény-előírásokat ezért a megkövetelt 95% esetleg 99% biztonság rögzítése mellett vagy a minimális szilárdsági érték megszabásával, vagy pedig maximális szórás megkötése mellett megkövetelt



9-6. ábra. A z előretartás szükséges nagysága kis, 5 kp/cm² és nagy, 10 kp/cm² szórás, útbeton húzószilárdság esetében. Az előírt $\sigma_{min} = 45$ kp/cm² érték és az ehhez szükséges átlag-húzószilárdság

minimális átlagszilárdság előírásával kellene megadni, hogy a szabályzatok egyértelműek legyenek.

Ezzel kapcsolatban megemlítjük az amerikai *Portland Cement Assotiation* 214. bizottságának az útbetonkészítés jóságát jellemző táblázatát, amely a $v = 100\ (\sigma/\mu)$ *variációs tényező* nagysága szerint minősíti a betonkészítést (9-1. táblázat).

Adott kp/cm² átlagszilárdság esetén tehát a táblázat a nagyon jó, jó stb. értékelésű beton megengedhető szórását adja meg: $\sigma = \frac{\mu v}{100}$ (kp/cm²). Innen adódott, hogy pl. $\mu = 55$ kp/cm² átlagszilárdság mellett nagyon jó betonkészítés esetén is kb. $\sigma = 55 \cdot 10 : 100 = 5{,}5$ kp/cm² szórásértékre kell számítani.

9-1. táblázat. Betonkészítés értékelése a variációs tényező alapján

A betonkészítés értékelése	$v = 100\,\frac{\sigma}{\mu}$ % keverőtelepen	$v = 100\,\frac{\sigma}{\mu}$ % laboratóriumban
Nagyon jó	10	5
Jó	10...15	5... 7
Tűrhető	15...20	7...10
Rossz	20	10

9.3. KÖVETKEZTETÉS A KORLÁTOZOTT SZÁMÚ MINTÁKBÓL A TELJES ÚTBURKOLAT (MINT ALAPSOKASÁG) TULAJDONSÁGAIRA

9.3.1. Viszonylag nagyszámú minta eloszlásának jellemzői

Egy vizsgált sokaság (alapsokaság) lehet pl. az útburkolatnál azon szorosan egymás mellé helyezett 15 cm átmérőjű körök sokasága, amelyek befedik a vizsgált burkolatrészt, s amelyek a magfúróval kivett magminták lehetséges helyeit (ill. azok egy részét) jelentik. Nyilván ezen lehetőségeknek csak kis töredékének megfelelő számú mintát tudunk venni, azaz egy n számú mag*mintát* vizsgálunk, és ezek tulajdonságaiból következtetünk az alapsokaság, a teljes burkolat minőségére.

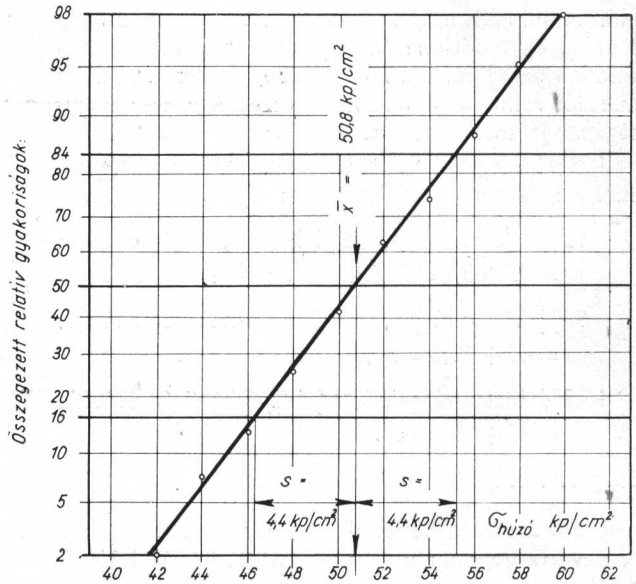
Ha a kivett minták száma viszonylag *nagy* (kb. $n = 30...40$ feletti), akkor a minták vizsgált jellemzői (pl. bitumentartalom, betonszilárdság) közelítően *normális* eloszlást mutatnak. Az n számú minta $x_1, x_2, \ldots, x_n$ vizsgált jellemzőjének számítjuk az x számtani középértékét az s szórását és a v % variációs tényezőjét az alábbi képletekkel:

$$\bar{x} = \frac{\sum_1^n x_i}{n}; \quad s = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n-1}};$$

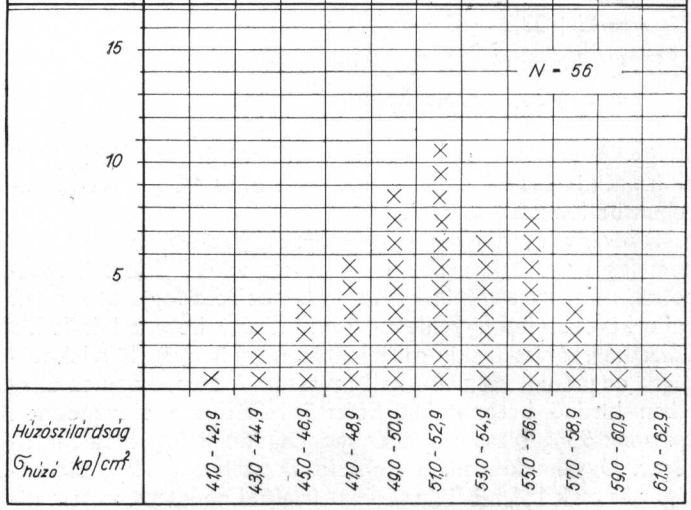
$$v = 100 \frac{s}{\bar{x}}.$$

Sokszor megtakaríthatjuk a hosszadalmas számítgatást, ha a 9-7. ábrán bemutatott *grafikus eljárást* alkalmazzuk. Itt a vizsgált x mennyiséget először osztályokba csoportosítjuk, vagy a *gyakorisági diagramban* az egyes osztályokat jellemző gyakorisági számokat rögzítjük százalékokra átszámítva. Ezen relatív *gyakorisági százalékokat* sorra összeadva, a részösszeg-százalékot egy különleges osztású (lineáris—normális eloszlási léptékkel bíró) ún. valószínűségi (Gauss) papíron pontokként felrakjuk.

A pontok súlyvonala jó közelítéssel egyenest ad, ezt behúzzuk. (Egyben ez a próbája annak, hogy valóban normális eloszlástípussal van dolgunk.) Az $y = 50\%$ gyakoriságnak megfelelő koordináta x abszcisszája adja meg az x számtani középértéket. Az s szórást pedig grafikusan úgy mérjük le az abszcissza-tengelyen, hogy az $y_1 = 16\%$ és az $y_2 = 84\%$ gyakoriságoknak megfelelő, a ferde egyenes által megszabott x_1 és x_2 abszcisszákat leolvassuk. Ezek különbségének fele az s szórás nagysága. A variációs koefficiens itt is a szórás és középérték hányadosa százalékban. A grafikus eljárás rendkívül könnyűvé teszi az eloszlás x, s, v jellemzőinek megállapítását.



100 Σ n/N	0	2	7	14	25	41	61	73	88	95	98	100
Σn	—	1	4	8	14	23	34	41	49	53	55	56
n	—	1	3	4	6	9	11	7	8	4	2	1



9-7. ábra. Az útbeton húzószilárdságának gyakorisági értékei valószínűségi papíron egyenest adnak (normális eloszlás), a középértéket és a szórást grafikus úton kaphatjuk meg

9.3.2. A mintasokaság és az alapsokaság jellemzőinek összefüggése nagyszámú minta esetén

A viszonylag nagyszámú (pl. $n=30$) minta esetén kérdés most már, hogy a minta x átlaga, középértéke milyen megbízhatósággal felel meg a normál eloszlású vizsgált alapsokaság pontos, létező középértékének. Nyilvánvaló, hogy ha az alapsokaság száma N igen nagy szám, és ebből több, véletlen módszerrel kiválogatott, de azonos, pl. $n=30$ darabszámú mintákat veszünk ki, akkor az egyes 30 db-os minták $\bar{x}_1, \bar{x}_2, \ldots$ stb. középértékei, átlagai közel esnek ugyan egymáshoz, de nem lesznek azonosak. Mi lesz most már az N igen nagy számú alapsokaság μ középértéke, amit tulajdonképpen keresünk? Ezt nem lehet pontosan megmondani. Csak *adott valószínűségekkel bíró becslést* végezhetünk, hogy a μ alapsokaság-középérték olyan intervallumba esik, amelynek alsó és felső határa az egyes minták $\bar{x}$ és s mintaátlag és mintaszórás értékeitől függ a következő módon. A μ alapsokaság-középérték $S\%$ kockázattal, hibalehetőséggel az alábbi intervallumba esik (a λ tényező a normál eloszlás haranggörbéjéből adódik):

$$\left(\bar{x}-\lambda\frac{s}{\sqrt{n}}\right)<\mu<\left(\bar{x}+\lambda\frac{s}{\sqrt{n}}\right).$$

A 95% biztonság, azaz 5% hibalehetőség esetén az intervallum:

$$\left(\bar{x}-1{,}96\frac{s}{\sqrt{n}}\right)<\mu<\left(\bar{x}+1{,}96\frac{s}{\sqrt{n}}\right).$$

A 99% biztonság, azaz 1% hibalehetőség esetén az intervallum:

$$\left(\bar{x}-2{,}50\frac{s}{\sqrt{n}}\right)<\mu<\left(\bar{x}+2{,}58\frac{s}{\sqrt{n}}\right).$$

A 99,9% biztonság, azaz 0,1% hibalehetőség esetén az intervallum:

$$\left(\bar{x}-3{,}29\frac{s}{\sqrt{n}}\right)<\mu<\left(\bar{x}+3{,}29\frac{s}{\sqrt{n}}\right).$$

Látható, hogy minél nagyobb biztonságra törekszünk, annál szélesebb, nagyobb az intervallum. Ezért túl nagy biztonságra nem érdemes törekedni. Az alapsokaság μ középértékét magában foglaló intervallum annál szűkebb,

minél kisebb a mintasokaság s szórása,
minél nagyobb az n, a mérések száma,
minél alacsonyabb $S\%$ biztonsággal elégszünk meg.

Szemléltetésül *példát* mutatunk be. Valamely burkolatból $n=30$ db magmintát fúrtak ki. Ezek bitumentartalmát megvizsgálták, ezek átlagértéke $\bar{x}=5{,}5\%$, amíg a szórás $s=0{,}3\%$. A teljes burkolat összes elképzelhető helyeiről vett minták képezik az alapsokaságot, amelynek $\mu\%$ középértékét, átlagát keressük. Bár a μ egy jól—rosszul közelítő értéke éppen $\bar{x}$, pontosan csak azt mondhatjuk, hogy a μ átlag az alábbi intervallumokban van:

$S=95\%$ biztonság, 5% hibalehetőség esetén az intervallum:

$$5{,}5\pm1{,}96\frac{0{,}3}{\sqrt{30}}=5{,}5\pm0{,}11,$$

azaz:

$$5{,}39<\mu<5{,}61;$$

$S=99\%$ biztonság, 1% hibalehetőség esetén az intervallum:

$$5{,}5\pm2{,}50\frac{0{,}3}{\sqrt{30}}=5{,}5\pm0{,}14,$$

azaz:

$$5{,}36<\mu<5{,}64.$$

Láthatjuk tehát, hogy viszonylag nagyszámú minta ellenére is csak egy adott $2\cdot0{,}11=0{,}22\%$ nagyságú, ill. $2\cdot0{,}14=0{,}28\%$ nagyságú intervallumot tudunk megadni 95%, ill. 99% biztonsággal (megbízhatósági szinten) arra, hogy a burkolat valóságos bitumentartalmát jelképező μ középérték ezen belüli érték. A viszonylag nagyszámú mintából sem lehet tehát a mintaátlagot (x) teljesen azonosnak venni a pontos középértékkel (μ), pl. a burkolat bitumentartalom-középértékével; nagyszámú minta esetén azonban az intervallum viszonylag elég szűk érték, és az $\bar{x}\approx\mu$ közelítés még reális lehet.

Ugyanígy a minta s szórása is csak közelíti az alapsokaság σ szórását, de nem azonos vele. Nagyszámú minta esetén azonban a $\sigma=s$ közelítés még szintén reális lehet.

Nagyszámú mintán tehát legalább 30, de inkább 50 mintaszámot értünk.

9.3.3. A mintasokaság és az alapsokaság jellemzőinek összefüggése kisszámú minta esetén

Az útépítési minőségellenőrzések során sajnos sokszor fordul elő, hogy *kisszámú* minta átlagából és szórásából szeretnénk következtetéseket levonni az alapsokaság (azaz a teljes burkolat) jellemzőire. Kis számnak nevezhetjük már az $n<30$ értékeket, de gyakorlatilag ennél jóval kisebb, extrém kicsi $n=3, 5, 10$ értékek is előfordulnak. Sok esetben az így kapott $\bar{x}$ átlagokat is teljes megbízhatóságúnak veszik a μ valódi középérték helyett. Valójában két okból is nagy fenntartásokkal kell lennünk.

Egyrészt a kicsi n mintaszám esetében a megbízhatósági intervallum az előző pontban ismertettek szerint is jóval tágabb lenne, most az n mintaszám a nevezőben van.

Másrészt valójában a helyzet ennél még rosszabb, ugyanis ilyen kis n mintaszámok esetén a mintaátlagok ($x_1, x_2, \ldots$) eloszlására nem a normális eloszlás vonatkozik, mint eddig

vettük, hanem az ún. *Student-féle eloszlás*, ami képletalakra ugyan hasonló, de számértékre — sajnos — sokkal tágabb, tehát bizonytalanabb intervallumot ad meg hasonló megbízhatósági szinten:

$$\left(\bar{x} - t_{n,S}\frac{s}{\sqrt{n}}\right) < \mu < \left(\bar{x} + t_{n,S}\frac{s}{\sqrt{n}}\right).$$

A különbség az előzőekhez képest az, hogy a normál eloszlás λ szorzója helyett most a *Student-* vagy *t*-eloszlás jóval nagyobb $t_{n,S}$ tényezői közül, amelyet a 9-2. táblázatból az n mintaszám és az S% kívánt megbízhatósági szint szerint kell kiolvasnunk.*

Az előbb tárgyalt számpéldát folytatva, ha pl. egy $n=4$ mintából számított átlag-bitumentartalom $x=5{,}5$%-ra adódott, $s=0{,}3$% szórás mellett, akkor pl. $S=95$% megbízhatósági szint esetén:

$$\bar{x} + t_{4,95}\frac{s}{\sqrt{n}} = 5{,}5 \pm 3{,}18\frac{0{,}3}{\sqrt{4}} = 5{,}5 \pm 0{,}48,$$

azaz:

$$5{,}02\% < \mu < 5{,}98\%.$$

$S=99$% megbízhatósági szint esetén még tágabb az intervallum:

$$\bar{x} \pm t_{4,99}\frac{s}{\sqrt{n}} = 5{,}5 \pm 5{,}84\frac{0{,}3}{\sqrt{4}} = 5{,}5 \pm 0{,}87,$$

azaz:

$$4{,}63\% < \mu < 6{,}37\%.$$

Azt látjuk tehát sajnos, hogy a kis mintaszámok esetén ($n=4$, ide tartozik!) tágak a megbízhatósági intervallumok. Ez az útépítés átvételi minőségvizsgálataiban azt jelenti, hogy a viszonylag kevés számú (pl. $n=4$) magmintából nyert bitumentartalmak $\bar{x}$ kismintaátlagától erősen eltérhet a burkolat valóságos μ% bitumentartalom középértéke, amit tulajdonképpen meg kell állapítani és össze kell hasonlítani az előírt értékekkel. Az előbbiek szerint, ha 4 mintából $\bar{x}=5{,}5$% bitumentartalmat kapunk, akkor $S=95$% esetén is lehetséges, hogy a burkolat bitumentartalom-középértéke valójában kb. 5%-nál van, és a bitumentartalom az esetek 50%-ában ennél kisebb. Ugyanúgy lehetséges, hogy a burkolat bitumentartalom-középértéke kb. 6%-nál van, és ennél az esetek 50%-ában nagyobb a bitumentartalom a valódi σ szórások szerint (9-8. ábra). Ha tehát az előírt bitumentartalom pl. $B=5{,}5$% volt, $\pm 0{,}5$% tűréssel, akkor 4 mintát vizsgálva is, csupán a valóságos μ% középérték-bitumentartalom lehetséges ingadozása is éppen $\pm 0{,}5$% körüli, és ekkor még a tulajdonképpeni σ szórást az egyes μ középértékektől nem vehettük figyelembe. Így tehát lehetséges, hogy négy próbatestből vett bitumentartalom átlaga egyenletes minőség esetén ($s=0{,}3$%) pontosan megfelel az előírt $B=5{,}5$% értéknek. Ennek ellenére a bitumentartalom valóságos ingadozása a burkolatban 50%-ban $B=5{,}0$% alatti, tehát felerészben az előírt határon aluli bitumentartalom van. Az átvétel során tehát a beruházó jóhiszeműen „rossz" burkolatot vesz át. Ugyanez fordítva is megeshet, és a kivitelező kerül hátrányba, mert lehet, hogy a $B=5{,}5 \pm 0{,}5$% tűréssel vett bitumentartalom-határokon kívülre adódik a 4 minta átlageredménye, holott a valóságos burkolatban a bitumentartalom középértéke ponto-

9-2. táblázat. A Student-eloszlás

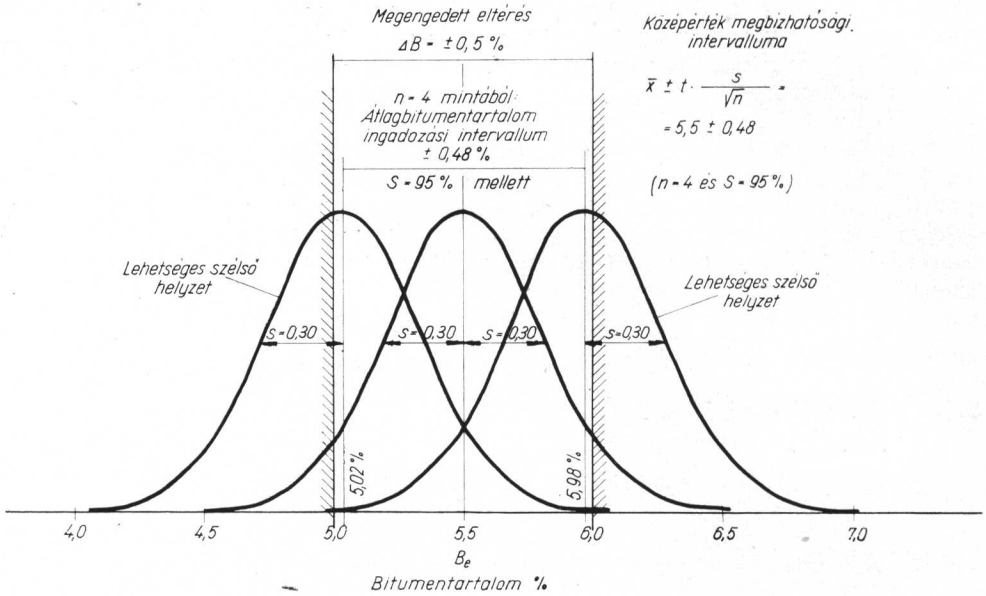
Mintaszám n	Student eloszlás $t_{n,s}$	
	$S=95$%	$S=99$%
2	12,71	63,67
3	4,30	9,92
4	3,18	5,84
5	2,78	4,60
6	2,57	4,03
7	2,45	3,71
8	2,36	3,50
9	2,31	3,36
10	2,26	3,25
12	2,20	3,11
14	2,16	3,01
16	2,13	2,95
18	2,11	2,88
20	2,09	2,86
22	2,08	2,83
24	2,07	2,81
26	2,06	2,79
28	2,05	2,77
30	2,04	2,76
.	.	.
.	.	.
.	.	.
.	.	.
∞	1,96	2,58

* Ugyanígy a mintából származó s szórásérték sem azonos közelítőleg sem az alapsokaság valódi szórásával. A minták szórásainak eloszlására az ún. χ^2 (Chi-négyzet) eloszlás érvényes, amely lehetővé teszi, hogy egy minta n számát és s szórását ismerve, megadjuk egy kívánt S% (pl. 95 vagy 99%) megbízhatósági szint mellett azokat az intervallumhatárokat, amelyek között az alapsokaság igazi szórásértéke helyezkedik el.

$$\sqrt{\frac{n-1}{\chi_{\frac{S}{2}}}}\, s < \sigma < \sqrt{\frac{n-1}{\chi_{1-\frac{S}{2}}}}\, s.$$

A χ számértékeit az n és S-től függően ismét táblázatokból vehetjük ki (pl. [4., 5., 6.]).

9-8. *ábra.* Egy $B=5{,}5\pm0{,}5\%$ tűréssel előírt bitumentartalmú burkolat 4 mintájának átlagai a *Student*-eloszlás szerinti középső és szélső helyzetekben, $S=95\%$ megbízhatósági szint mellett

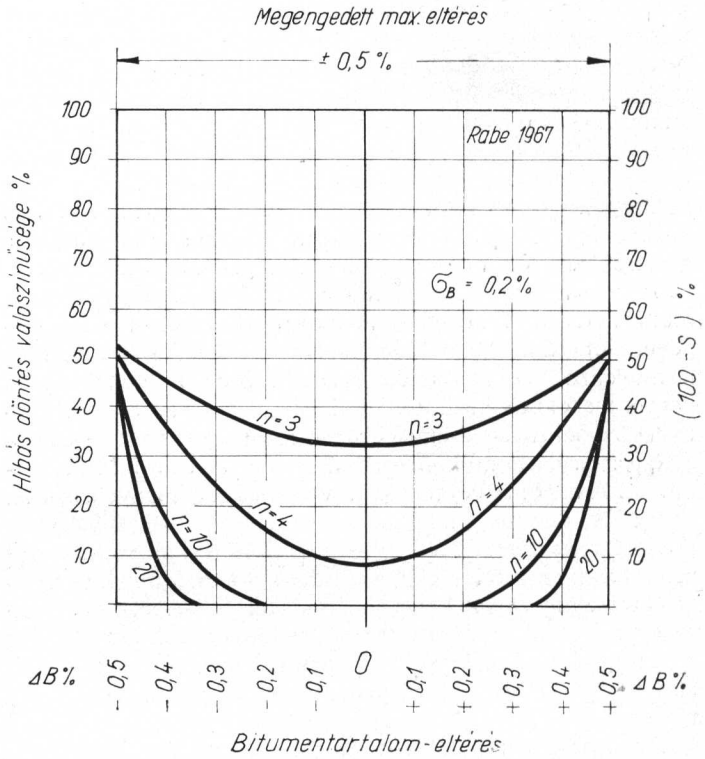


san a megkívánt 5,5%-ra esik, és az ingadozás nagyrésze a $\pm0{,}5\%$ „tűrésen" belül marad.

Csalódással kell tehát megállapítanunk, hogy a kisszámú mintákból képzett átlagértékek megbízhatatlanok annak megítélésére, hogy valamelyik minőségi jellemző a burkolatban valóban a megadott határokon belül vagy kívül ingadozik. Ezt a tényt a matematikai statisztika fel tudja tárni, de segíteni, nem létező mérést, adatot pótolni nem tud. Fokozódik ez a megbízhatatlanság, ha 2...3 km hosszú útszakaszt 2...3 db magminta adataiból akarunk megítélni.

Teljesen hasonló következtetésre jutott vizsgálatai alapján 1967-ben *Rabe* [8], akinek a 9-9. ábrán egyik jellemző grafikonját mutatjuk meg. Az abszcisszán a bitumentartalomnak az előírásos értéktől számított eltérései vannak felrakva 0-tól balra $-0{,}5\%$-ig, jobbra $+0{,}5\%$-ig. Az ordináták a kockázatot, a hibás döntés $(100-S)\%$ valószínűségét jelentik, tehát annak a valószínűségét, hogy az n számú kismintából kapott $\bar{x}$ átlag bitumentartalom ugyan a $\pm0{,}5\%$ „megengedhető eltérésen" belül marad, ennek ellenére a burkolat valóságos $\mu=B\%$ bitumentartalma a $\pm0{,}5\%$ határon kívül esik. A minták szórását a kedvező $\sigma=0{,}2\%$-nak tételezte fel. Ennek ellenére látjuk az ábrából, hogy még ha az eltérés értéke 0, akkor is a hibás átvétel valószínűsége 4 mintás átlag esetén 8%, és a 3 mintás átlagnál már 32%! Ha pedig a mintaátlag a $\pm0{,}5\%$-os határok széle felé közelít, akkor a viszonylag nagy, $n=10...20$ mintaszám esetén is 50% a hiba lehetősége, tehát teljes a bizonytalanság.

Mi lehet ezután a követhető út. Lehetne talán a *vizsgálati mintaszám növelése*, legalább 30 db véletlenül kiválasztott minta együttes számbavétele. (Néhány külföldi tanulmány



9-9. *ábra. Rabe* [8] grafikonja a bitumentartalom eltérés függvényében a hibás átvételi döntés valószínűségét mutatja. Ez a valószínűség a kisszámú mintavétel esetén rendkívül nagy, az átvétel megbízhatósága kisszámú minta esetén bizonytalan

inkább 50 mintát tart szükségesnek.) Ennek viszont sok meggondolandó hatása van az átvételi eljárás során (költség, laboratóriumi kapacitás, időigény stb.), emellett szükségessé tenné a szakaszokra osztás helyett a *hosszabb útszakaszok egy tagban való értékelését és átvételét.*

A kérdés megoldását azonban gyökeres módon csak az jelentheti, ha a minőségellenőrzést a kész út átvételének időpontjától visszahelyezzük *a gyártás alatti folyamatos vizsgálatokra:* ezt pedig korszerű matematikai—statisztikai módszerekkel, a jól bevált *kontrollkártyás gyártásellenőrzési módszerekkel* meg lehet valósítani.

9.4. GYÁRTÁSELLENŐRZÉS AZ ÚTÉPÍTÉSBEN KONTROLLKÁRTYÁS RENDSZERREL

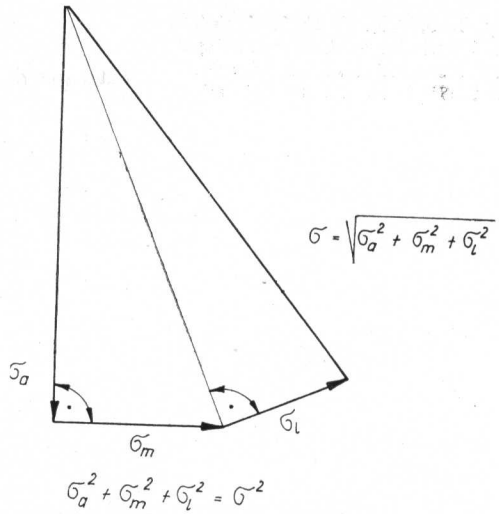
9.4.1. A kontrollkártyás gyártásellenőrzés lényege

Az útépítés mind inkább kinő a kisipari módszerekből, s az útépítőipar — elsősorban a korszerű aszfalt- és betonkeverőtelepek által kiszolgált építési helyeken — valóban korszerű ipari gyártási módszereket alkalmaz. Ezért egyre inkább szükségessé válik a más iparágakban már régóta bevezetett statisztikai gyártásellenőrzési módszerek alkalmazása. Ezt az ellenőrzést a gyártó (kivitelező) vállalat saját maga végzi, mert a valóban egyenletes terméket előállítani, a módosítások szükségességét elbírálni csak így lehet. Az utolsó 5...10 évben Európa fejlett útépítő országaiban rohamosan terjedt el a gyártásközbeni kontrollkártyás minőségellenőrzés.

A vállalat gyártásellenőrzése csak teljesítőképes saját munkahelyi vagy közeleső központi laboratóriuma segítségével oldható meg, amely legalább arra képes, hogy a szállítójárművekről naponta rendszeresen 2...5 db, pl. aszfaltmintát vegyen, azokból bitumenextrakciót végezzen, és a visszanyert adalékanyag szemeloszlását meghatározva ellenőrizze a töltőanyag, a homok és a zúzalék arányát és a bitumentartalmat. A naponta végzett 2...5 vizsgálat eredményeit ezután átlagolják, és a napi munkát jellemző *középértéket*, valamint a *szórást kontrollkártyán* rögzítik. (Külön kontrollkártyája van a bitumentartalomnak, a töltőanyag-tartalomnak és a zúzaléktartalomnak.) A kontrollkártyákon (9-13. és 9-14. ábrák) az egymásutáni napokon rendre bejelölt pontok két (esetleg három) jellemzően ingadozó pontsort alkotnak, amelyeknek alapján a gyártás- és minőségellenőrzést teljesen kézben lehet tartani.

A pontok (a minőségi jellemzők) ingadozása két okcsoportra vezethető vissza.

1. *Véletlen okok* csoportja. A keverőtelep gépeinek működésében kifogástalan üzem esetén is vannak belső egyenetlenségek, pl. a meleg adalékanyag-frakciók bemérlegelésénél, a töltőanyag súly szerinti mérlegelésénél éppúgy, mint a szükséges bitumenmennyiségnek a keverőtérbe való bepermetezése során. Elkerülhetetlen véletlen ingadozást okoz az adalékanyagok megengedett határok között levő szemeloszlás-ingadozása is. A keverék minőségingadozása, szórása a keverőgépből kikerülve legyen σ_k. További véletlen hibát okozhat a már megkevert aszfaltanyagból való mintavétel módja (σ_m). Végül további véletlen hibát okozhat a laboratóriumi vizsgálat, így az extrakció és a szemeloszlás-vizsgálat, ami annál nagyobb, minél nagyobb a max. szemnagyság a keverékben (σ_1). Ezen egymástól független hibák szórásnégyzeteinek összegéből adódik a vizsgált aszfaltminták minőségi jellemzőinek eredő szórásnégyzete: ($\sigma^2 = \sigma_k^2 + \sigma_m^2 + \sigma_l^2$) (9-10. ábra). Ezen elkerülhetetlen véletlen okok eredőjeként kell felvennünk a *legnagyobb megengedhető szórásértéket:* σ, amelyet a jól működő keverőtelepek munkájának kiértékelésekor követelményszerűen kell megszabni (l. pl. a 9-5. táblázatot).



9-10. ábra. A vizsgálati eredmény σ szórása az anyagminőség σ_a, a mintavétel σ_m és a laboratóriumi vizsgálat σ_l szórásainak együttes hatásától függ

2. *Szabályos, kiküszöbölendő okok csoportja.* Az előbb említett, gazdaságosan ki nem küszöbölhető szabálytalan hibák mellett időnként vagy tartósabban felléphetnek olyan okok is, amelyek mind az $\bar{x}$ átlagértékek, mind a σ szórások nagyságát megengedhetetlenül károsan befolyásolják. Ilyen hibák lehetnek: a keverőgép mérlegeinek elállítódása, a bitumenvezeték tömítetlenségi hibái, keverési idő megváltoztatása, a töltőanyag-adagolás hibája: egy új adalékanyag-frakció jelentkezése, amelynek a szemeloszlása nagyobb mértékben ingadozik a megengedett, és addig megszokott értéktől stb.

A statisztikai gyártásellenőrzés célja az, hogy a naponta végzett vizsgálatok helyes kiértékelésével egyértelmű lehetőséget nyújtson arra, hogy a tudatosan felállított *figyelmeztető határok*, valamint az *ellenőrző határok* segítségével minél hamarabb észre lehessen venni, mikor jellemzik az értékingadozásokat csupán a *véletlen* okok (ekkor a gyártás a statisztikai kontroll alatt fut), és mikor jelentik az értékingadozások azt, hogy valami *rendellenesség*, *szabályos hiba* lépett fel, amelynek elhárítására a keverőtelepen azonnal *intézkedéseket kell tenni*. A hiba (mérlegelállítódás, szemeloszlás-módosulás, bitumenvezeték tömítetlensége stb.) megszüntetése után a további napok pontjainak ingadozása megint a figyelmeztető határok között marad.

9.4.2. Az egyszerű kontrollkártyák tervezése és használata

A következőkben ismertetendő, számos iparágban régóta erősen elterjedt ún. *egyszerű kontrollkártyás módszert* első bevezetőjéről sokszor *Shewart-kártyás módszernek* is nevezik.

A kontrollkártyákon egymás felett két koordináta-rendszer van. Mindkettőnek egyező beosztású az abszcisszája, pl. többnyire az egyes napok (esetleg a beépített kilométerek szabványszáma vagy egyszerűen a kis mintacsoportok száma). A felső diagram az *X kisminta-középértékek ingadozását* mutatja, amelyen az előírt középértéket (pl. a bitumentartalmat) vízszintes vonallal jelöljük. Ez alatt és felett pedig $1\sigma_k$, $2\sigma_k$ és $3\sigma_k$ távolságban 3...3 párhuzamos vonalat húzunk (9-11. ábra). Itt a σ_k a középértékek ingadozásának a szórása, amely az egyes napokon vizsgált minták n számától, valamint a követelményként előírt σ szórástól függ. A σ tehát itt az egy napon belüli, azaz a kismintán belüli n számú aszfaltminta ingadozásainak a szórása, nem pedig az ezekből képzett $\bar{x}$ napi kismintaátlagok számos napon át való ingadozásának a σ_k középérték szórása. A követelményként előírt σ szórásból számítjuk a

$$\sigma_k = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

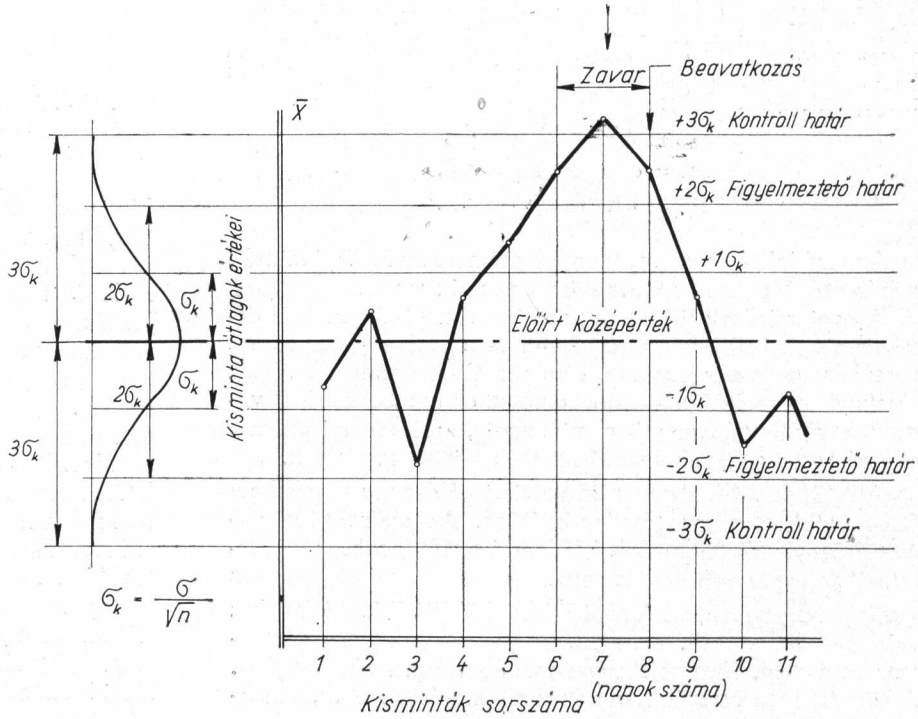
középértékszórást. Az előírt, megkívánt $\bar{x} = B\%$ középértéktől fel- és lefelé mérve $\pm 1\sigma_k$, valamint $\pm 2\sigma_k$ távolságot, a kapott két-két vízszintes vonal a két *figyelmeztető határ*, majd a $\pm 3\sigma_k$ távolságokban mért két vízszintes vonal pedig a két *kontrollhatár*.

Ha most a naponként megállapított $\bar{x}$ napi átlagokat mint pontokat ábrázoljuk ebben a diagramban, akkor jól megítélhetjük: mindaddig statisztikai kontroll alatt, csak a megengedett véletlen ingadozást mutatva jó és kielégítő minőségű jellemzőket ad a gyártás, amíg a napi pontok főleg a $\pm 2\sigma_k$ *figyelmeztető határok* között ingadoznak az előírt középérték két oldalán, s csak viszonylag ritkábban kerül át néhány pont a $\pm 3\sigma_k$ *kontrollhatár-értéket* és a $\pm 2\sigma_k$ figyelmeztető határokat jellemző egyenesek közötti *két szélső* sávba.

Beavatkozásra, hibakeresésre és a keverőtelep hibájának korrigálására akkor van szükség, ha az egyes napi pontok helyzetéből arra lehet következtetni, hogy a véletlen ingadozásoktól független, *szabályos, kiküszöbölendő hibák* hatnak:

1. Ha már *egyetlen pont* kívül esik a $\pm 3\sigma_k$ ellenőrző határon, akkor a megkívánt $\bar{x}$ előírt középértéktől való eltérésre lehet számítani. Ezért hibakeresést kell végezni az ellenőrző láncban (keverőtelep, mintavétel, laboratórium), és a talált hibát meg kell szüntetni.

2. Ha *legalább két egymás utáni pont* kívül esik a $\pm 2\sigma_k$ figyelmeztető határon, akkor is hibakeresést és módosítást kell végezni.



9-11. ábra. Az $\bar{x}$ napi középértékek ingadozását mutató kontrollkártya-diagram ellenőrző- és kontrollhatárai

3. Ha legalább *három egymás utáni pont* kívül esik a $\pm 1\sigma_k$ vonalak egyikén, ez ismét a szabályos hiba hatására mutathat, akkor hibakeresés és módosítás végzendő.

4. Ha legalább *tizenegy egymás utáni pont* az x előírt középérték vonalának csak egyik oldalára esik, szintén arra mutat, hogy az átlagérték szintje eltolódott, és akkor emiatt hibakeresést és módosítást kell végezni.

A kontrollkártyák alsó diagramja a napi minták *szórásainak ingadozásait* ellenőrzi. Nem elég ugyanis, ha csak a napi középértékek ingadoznak a kielégítő kontroll alatt úgy, hogy átlaguk valóban megfelel az előírt $\bar{x}$ jellemzőnek, pl. az előírt bitumentartalomnak. Rossz lesz az aszfalttermék minősége akkor is, ha a jó középértékeket nagy napi szórásokkal hozzák létre, pl. a napi felhasznált összbitumen-mennyiség ugyan megfelelő, de a keverés egyenlőtlen. Ezért szükséges a σ napi szórások ingadozására is kontrollhatárokat adni. A σ napi átlagos négyzetes eltérések számítása azonban részben nehézkes, részben a napi kis mintaszám ($n = 2...5$) miatt nem olyan jellemző. Ezért e helyett a könnyebben számítható, és jellemzőbb *kisminta-terjedelem:* R értékének az ingadozását ellenőrizhetjük.

A kisminta vagy napi *terjedelem:* $R = x_{max} - x_{min}$, azaz az egy napon vizsgált n darabból álló kisminta legnagyobb és legkisebb jellemzője közötti eltérés, különbség. Ilyen kis ($n = 2...5$) mintaszám esetében a matematikai—statisztikai szakirodalom korrelációs számítás alapján megfelelő szorzószámokkal meg tudja adni [11, 15], hogy az előírt σ szórásnak mekkora R átlagterjedelem felel meg, és az R napi terjedelem ingadozásában a kontrollkártyákon milyen ordinátáknál kell az R_{fa} és R_{ff} *alsó és felső figyelmeztető határt*, valamint az R_{ka} és R_{kf} *alsó és felső kontrollhatárt* mint vízszintes vonalakat meghúzni (9-12. ábra):

$$R = d\sigma,$$

$$R_{fa} = c_1 R \quad \text{és} \quad R_{ff} = c_2 R,$$

$$R_{ka} = c_3 R \quad \text{és} \quad R_{kf} = c_4 R.$$

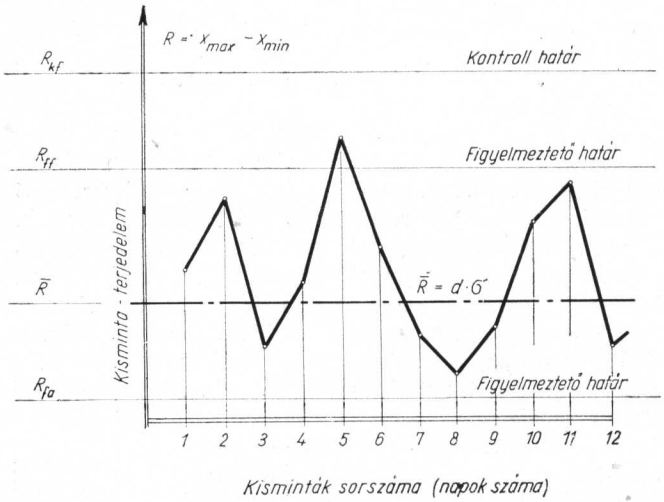
A megfelelő d és $c_1 ... c_4$ állandók számértékei a napi minták n számától függenek a 9-3. táblázat adatai szerint.

A napi szórások, ill. ennek megfelelő napi terjedelem értékeit a kontrollkártya alsó részén feltüntetve — a kapott törtvonal helyzete szerint a középérték-diagramnál tárgyalt elveknek megfelelően — hibakeresést és módosítást kell végezni a termelőfolyamatban mindaddig, amíg a napi pontok egyenletesen a figyelmeztető határok között maradnak.

A 9-13. és 9-14. ábrákon gyakorlati példát mutatunk be a *finomaszfaltbeton* gyártásellenőrzésére. Az előírt bitumen- és töltőanyag-tartalom $B = 6{,}5\%$ és $T = 10\%$ volt. Itt a kismintában napi $n = 3$ mintát vettek és vizsgálták a bitumen- és a töltőanyag-tartalmát. A napi 3 értékből álló $\bar{x}$ és $\bar{R}$ átlagokat rajzoltuk be a 9-13. ábra bitumentartalom kontrollkártyájába és a 9-14. ábra töltőanyag-tartalom kontrollkártyájába. A kontrollhatárok számítását az ábrákon feltüntettük, a meg-

9-3. táblázat. A napi terjedelem ingadozását értékelő figyelmeztető és kontrollhatárok számítási állandói

Kisminta száma n	d	c_1	c_2	c_3	c_4
2	1,128	0,04	2,87	0,00	4,12
3	1,693	0,18	2,17	0,04	2,98
4	2,059	0,29	1,93	0,10	2,57
5	2,326	0,37	1,82	0,16	2,34
6	2,534	0,42	1,72	0,21	2,21

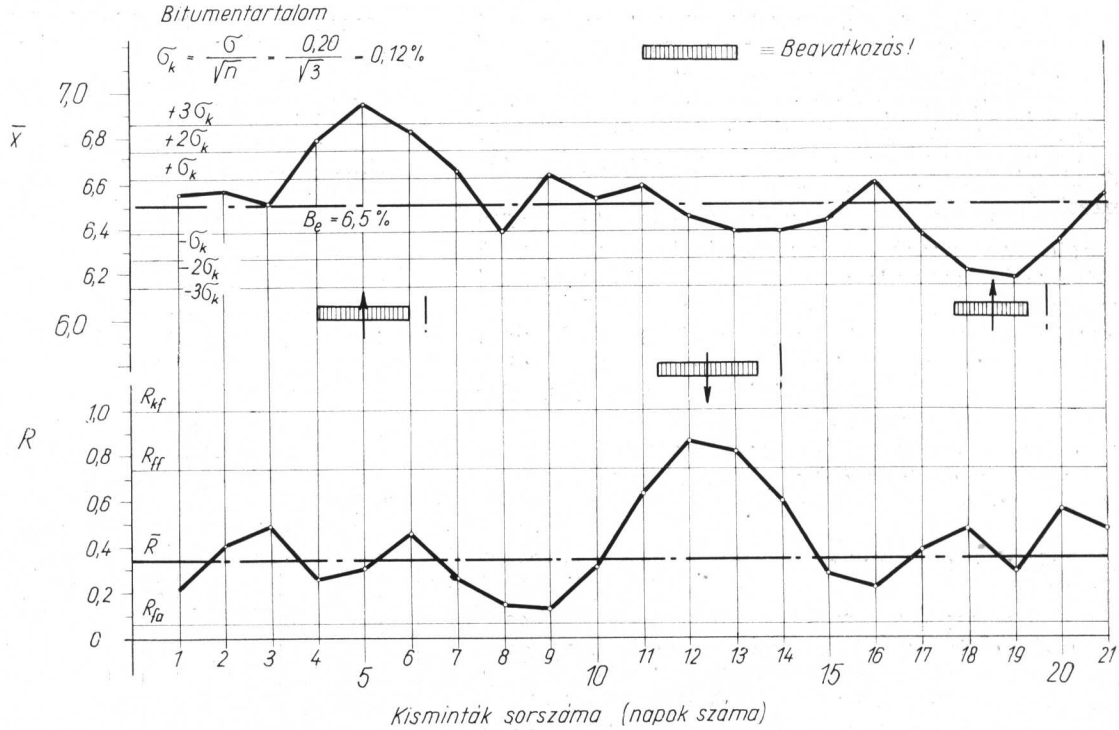


9-12. ábra. Az R napi terjedelem (szórás) ingadozását mutató kontrollkártya-diagram ellenőrző- és kontrollhatárai

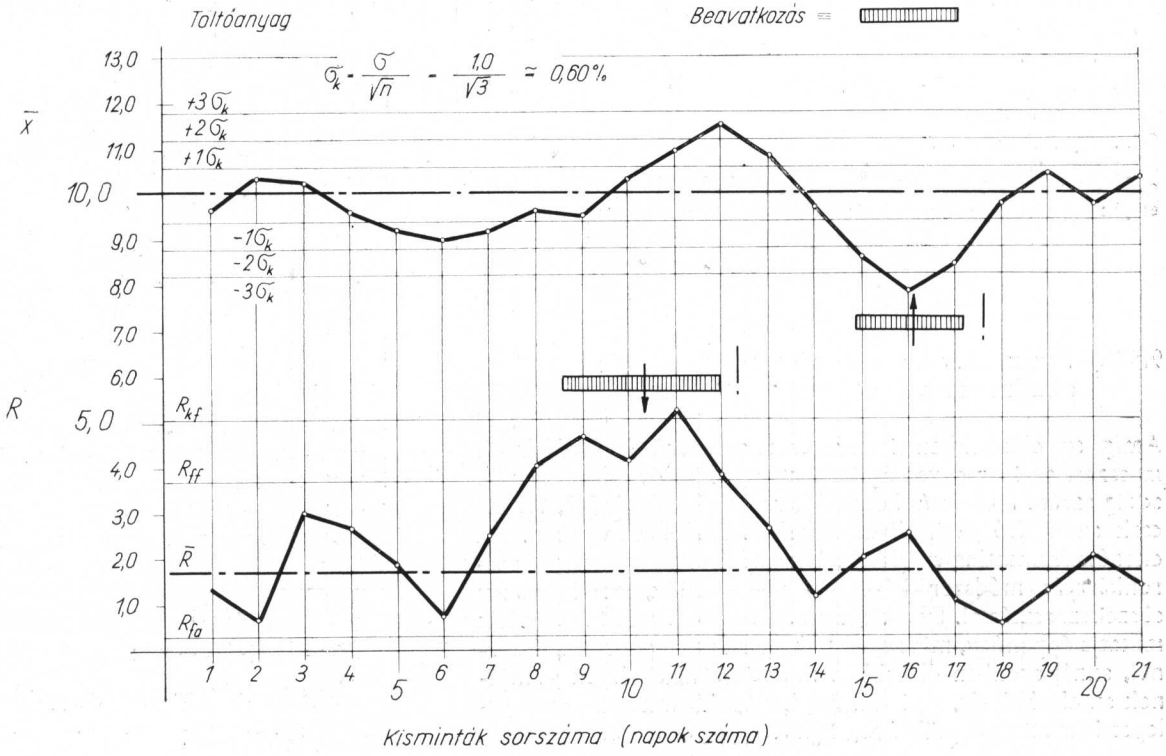
követelt szórást a bitumennél $\sigma = 0{,}20$-nak, a töltőanyagnál 1,0%-nak vettük. Látható, hogy a bitumentartalom középértékében a 3. és 4. napon nagy kiugrás, hiba mutatkozott. A hibát megkeresték, a bitumenszivattyú hibásodott meg. Javítás után az ellenőrzött gyártás egyensúlya helyreállt. Hasonló időleges hiba mutatkozott a szórásban a 12. és 13. napon, amíg a 18. és 19. napon bitumenhiány gyanúja mutatkozott. A töltőanyagnál az átlagértékek ugyan végig kielégítőek maradtak (a 16. napot kivéve), a 9...11. nap környékén azonban különösen nagy terjedelem, ill. szórás mutatkozott. Utánanézve kiderült, hogy az újonnan érkezett zúzotthomoknak túl nagy aprószemű töltőanyagrésze volt, amit az exhausztor nem szívott ki. Ezt az anyagot nem használták tovább, s a szórást tűrhető mértékre csökkentették.

Végül a 9-15. ábrán egy *betonburkolatnál a légpórustartalom* ellenőrzését elősegítő kontrollkártyákat látjuk. Az előírt érték 4,5 térf.%, a megengedett szórás pedig $\sigma = 0{,}8$ térf.%. Napi 3 ellenőrző mérést végeznek. Az ábra példa arra, hogy

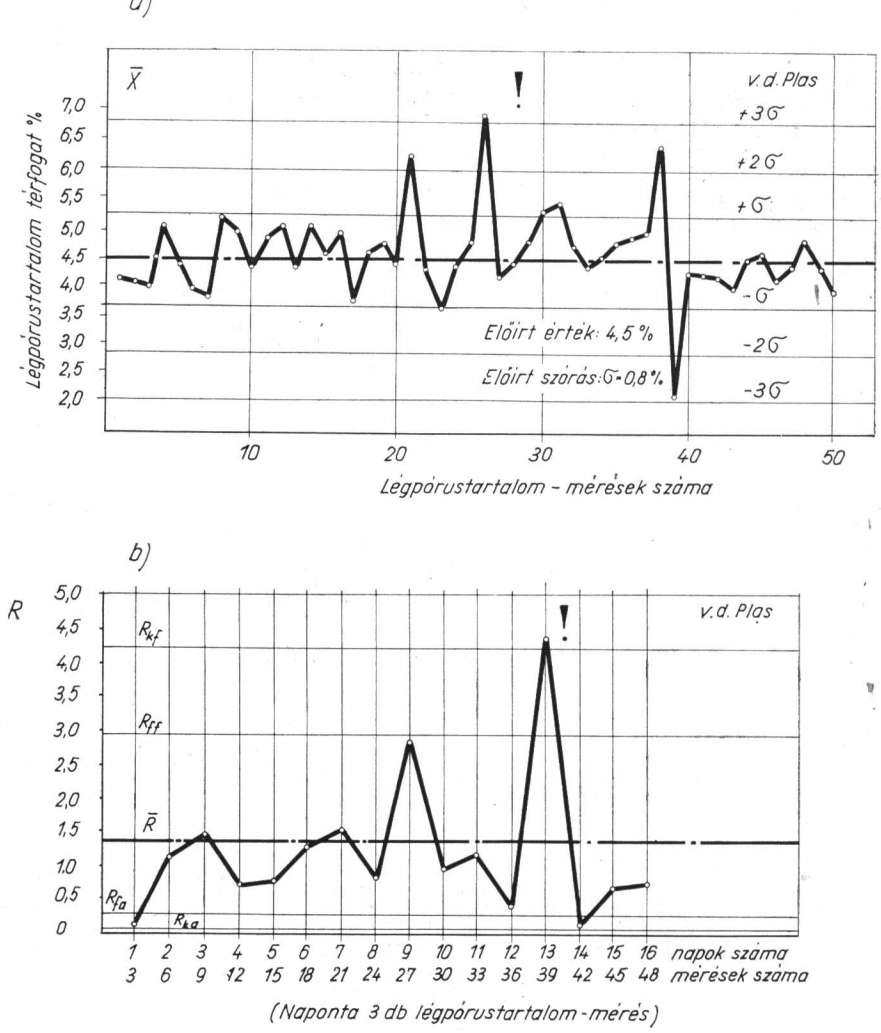
9-13. *ábra.* A bitumentartalom kontrollkártyája finom aszfaltbetonburkolat esetében: *a)* $\bar{x}$ napi középérték-diagram; *b)* napi terjedelemdiagram. Előírt középérték: $\bar{x}=B=6{,}5\%$, előírt szórás $\sigma=0{,}20\%$



9-14. *ábra.* A $T\%$ töltőanyagtartalom kontrollkártyája finom aszfaltbeton-burkolat esetében: *a)* $\bar{x}$ napi középérték-diagram, *b)* napi terjedelemdiagram. Előírt középérték: $\bar{x}=T=10\%$, előírt szórás: $\sigma=1{,}0\%$



a vizsgált jellemzőt napi átlagképzés nélkül, eredeti értékekkel is fel lehet tüntetni, ekkor a figyelmeztető határok természetesen az előírt szórás kétszeresei, ill. háromszorosai. A terjedelem-, ill. szórásdiagramnál viszont a napi 3 mérés R terjedelemértékeit kellett felrakni az előző módon számított figyelmeztető és ellenőrző határok mellett.



9-15. ábra. A beton légpórustartalmának kontrollkártyája betonburkolat esetén: *a)* mérési eredmények diagramja; *b)* napi terjedelem-diagram. Előírt középérték: 4,5 térf.%, előírt szórás: 0,8 térf.%

9.4.3. Kumulatív kontrollkártyás ellenőrzés alkalmazása és előnyei

Amíg az előzőekben ismertetett egyszerű *kontrollkártyás módszert* az ipar egyes ágaiban már kb. 30 éve alkalmazzák, addig az ún. *kumulatív* kontrollkártyás ellenőrzés [17, 18, 21] csak az utolsó évtizedben kezd elterjedni Európában. Az ellenőrzést esetleg az előzőekben megismert egyszerű kontrollkártyás módszer kártyáján végezhetjük, azzal azonos abszcisszaosztással. Ez a diagram az $\bar{x}$ középérték ingadozását mutatja éppenúgy, mint az első diagram az egyszerű módszernél, annál azonban élesebben mutatja a középérték szintjének az eltolódását, s viszonylag hamarabb mutat rá az esetleges beavatkozás szükségességére.

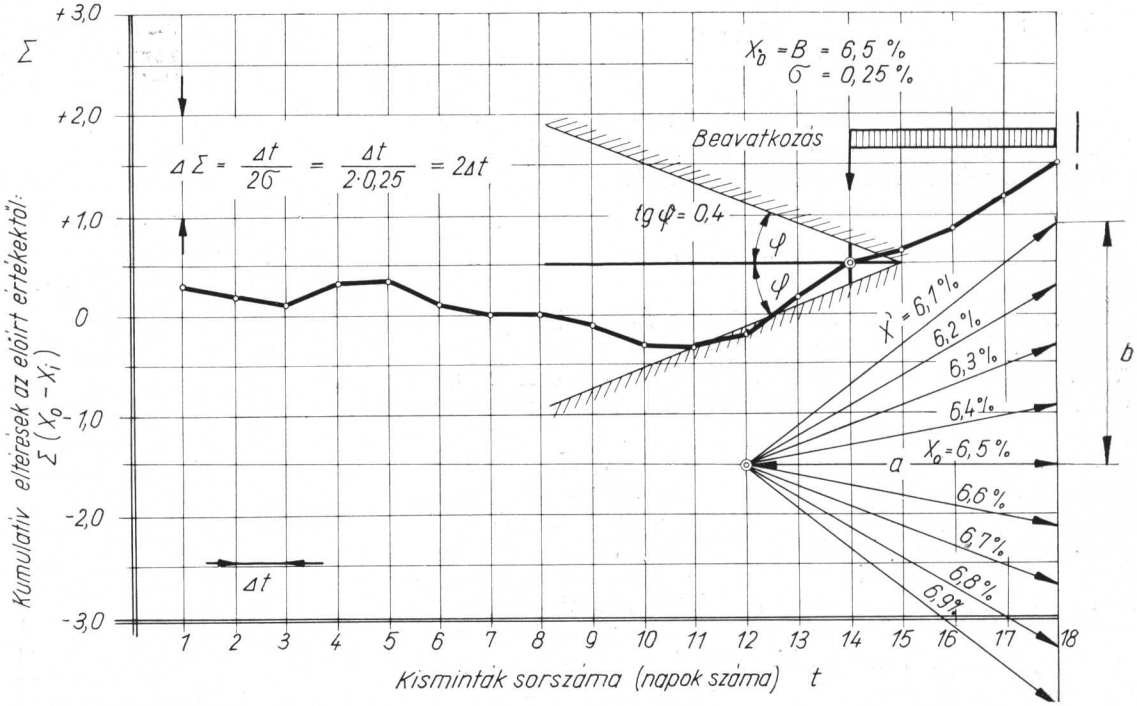
A kumulatív középérték-ellenőrző diagram lényegét a 9-16. ábra mutatja. A vizsgált jellemző napi középértékei legyenek x_1, x_2, x_3 stb. Ha az előírt érték x_0 (pl. $x_0 = B = 6{,}5$ előírt bitumentartalom), akkor minden egyes napi értéket kivonunk az x_0 előírt értékből. Az így kapott $(x_0 - x_1)$, $(x_0 - x_2)$, $(x_0 - x_3)$ eltérésértékeket előjelhelyesen folytonosan összegezzük, és a kapott részösszegeket ordinátaként felrakjuk:

$$\Sigma_1 = (x_0 - x_1);$$

$$\Sigma_2 = \Sigma_1 + (x_0 - x_2);$$

$$\Sigma_3 = \Sigma_2 + (x_0 - x_3) = (x_0 - x_1) + (x_0 - x_2) + (x_0 - x_3)$$

és így tovább.



9-16. ábra. Kumulatív bitumentartalom—középérték ellenőrző hibaösszegező vonal. A V alakú sablon mutatja, hogy már a 14. mintánál közbe kellett volna lépni a bitumentartalom növelése érdekében

Az így kapott kumulált, összegezett hibaértékek (9-4. táblázat) *vízszintes vonal körül* ingadoznak addig, amíg a vizsgált jellemző valóban az *előírt* x_0 *középérték* körül ingadozik. Ha viszont az ingadozás *alacsonyabb* középérték körül megy végbe, mint az előírt x_0 érték, akkor kumulatív részösszegvonal — a 9-16. ábra szerint — ezen a szakaszon *emelkedő tendenciát* mutat. Ha a jellemző ingadozása az előírtnál *magasabb* középérték körül megy végbe, akkor a kumulatív részösszegvonal *csökkenő tendenciát* mutat. Az ábrán is látható iránynyaláb mutatja, hogy az egyes hajlásirányok mekkora, a vízszintes iránynak megfelelő $\bar{x}_0$ előírt középértéktől eltérő más $\bar{x}$ középértéknek felelnek meg. Ezzel tehát mindenkor könnyen lehet ellenőrizni, hogy a statisztikai kontroll alatt futó termelés milyen középérték körül ingadozik, és mikor van változás.

A kumulatív hibaösszegző-diagramot *meghatározott léptékben* kell felrajzolni. A vízszintes irányú Δt osztástávolságot vesszük egységnek (ez azonos legyen az egyszerű kontrollkártyás módszer során alkalmazott, pl. $\Delta t = 10$ mm osztással). A függőleges tengely osztását megegyezés alapján $2\sigma : 1 =$ *= ordináta:abszcissza* léptékarány szerint választjuk meg, tehát az előírt vagy felvett σ szórásnak megfelelően az ordináta osztásának $\Delta\Sigma$ mm egysége $\Delta t/2\sigma$ lesz, ha az abszcissza osztása Δt mm.

9-4. táblázat. Példa a kumulatív középérték-ellenőrző vonal számítására, B=6,5% előírt bitumentartalom mellett

Sorszám	x_0	x_i	(x_0-x_i)	$\sum(x_0-x_i)$
1	6,5	6,2	+0,3	+0,3
2	6,5	6,6	—0,1	+0,2
3	6,5	6,6	—0,1	+0,1
4	6,5	6,3	+0,2	+0,3
5	6,5	6,5	±0,0	+0,3
6	6,5	6,7	—0,2	+0,1
7	6,5	6,6	—0,1	±0,0
8	6,5	6,5	±0,0	±0,0
9	6,5	6,6	—0,1	—0,1
10	6,5	6,7	—0,2	—0,3
11	6,5	6,5	±0,0	—0,3
12	6,5	6,4	+0,1	—0,2
13	6,5	6,1	+0,4	+0,2
14	6,5	6,2	+0,3	+0,5
15	6,5	6,4	+0,1	+0,6
16	6,5	6,3	+0,2	+0,8
17	6,5	6,1	+0,4	+1,2
18	6,5	6,2	+0,3	+1,5

Tehát:

$$\Delta\Sigma \text{ mm} = \frac{\Delta t \text{ mm}}{2\sigma}.$$

Az $\bar{x}_0$ előírt középértéktől eltérő más $\bar{x}$ középértéket jelző irányt az iránynyalábban a csúcstól felvett *a* mm vízszintes távolságban felállított merőleges *b* mm távolság végpontja szabja meg:

$$b \text{ (mm)} = -(\bar{x}_0 - \bar{x}')\frac{\Delta\Sigma}{\Delta t}\, a \text{ (mm)}.$$

Ezzel az összefüggéssel a különböző szóba jövő középértékekre (pl. bitumentartalmakra) vonatkozó sugárirányokat (9-16. ábra) megszerkeszthetjük. Ennek segítségével pedig a kumulatív hibaösszegező-vonal hajlásából azonnal megállapítható a pillanatnyi $\bar{x}$ középérték nagysága.

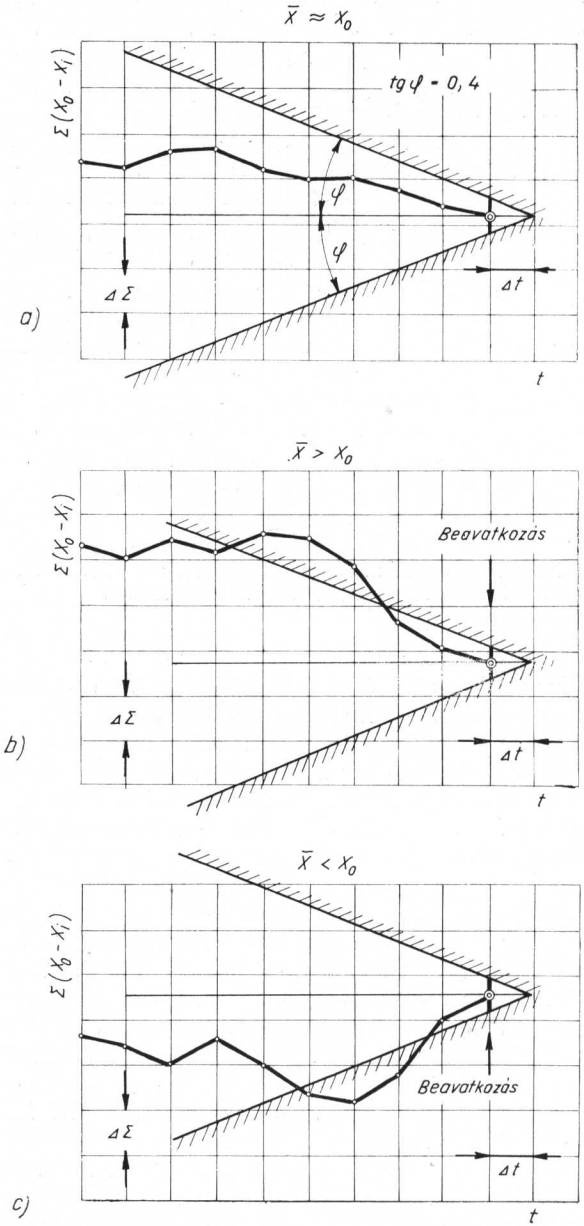
A kumulatív hibaösszegvonal futásából *Page* [17, 18] módszere szerint egy átlátszó pauszpapírra rajzolt vízszintes hossztengelyű, 2φ nyílásszögű *V-sablon* tologatásával minden pontban (minden napon) jól megállapítható, hogy szükség van-e a keverőtelepen közbelépésre, a hibák korrigálására. A felvett $2\delta:1$ ordináta-abszcissza léptékarány figyelembevétele mellett a beavatkozás szükségességének a vizsgálatára az irodalom [18] részletesebb indoklása szerint $\operatorname{tg}\varphi = 0{,}40$ hajlású V-sablont célszerű készíteni. A vízszintes tengelyű V-sablon csúcsától az 1 abszcissza-osztásnak megfelelő Δt (mm) középvonal-távolságban körjelzést alkalmazunk. A vizsgálatot minden nap a 9-17. ábra szerint egyszerűen elvégezhetjük azzal, hogy a V-sablont vízszintes tengellyel és csúccsal jobbra úgy helyezzük el, hogy a csúcstól Δt (mm)-re levő körjelzést a kumulatív összegezővonal utolsó pontjára illesztjük. Három eset lehetséges (9-17. ábra):

a) Nincs szükség beavatkozásra, ha a kumulatív összegvonal a V-sablon szárai között marad, akkor a tényleges átlag megfelel az előírt átlagnak: $\bar{x} \approx \bar{x}_0$.

b) Ha a kumulatív összegvonal egy vagy több pontja a V-sablon *felső szára felett* marad, akkor a *tényleges átlag nagyobb*, mint az előírt átlag: $\bar{x} > \bar{x}_0$, intézkedni kell a gyártási folyamat javítására.

c) Ha a kumulatív összegvonal egy vagy több pontja a V-sablon *alsó szára alatt* marad, akkor a *tényleges átlag kisebb*, mint az előírt átlag: $\bar{x} < \bar{x}_0$, intézkedni kell a gyártási folyamat javítására.

A kumulatív hibaösszegvonal és a V-sablon segítségével — a külföldi tapasztalatok szerint [17, 21] — kb. kétszer-négyszer olyan hatékonyan, azaz kb. kétszer-négyszer kevesebb minta alapján és hamarabb el lehet dönteni, hogy szükség van-e korrekciós beavatkozásra vagy nincs, szemben az egyszerű kontrollkártya középérték- és szórásdiagramjával. Ennek ellenére érdemes azonos kontrollkártyán mind a három diagramot vezetni, mert egyrészt egyszerűségük miatt a többletmunka alig jár fáradsággal, másrészt így a korrekciószükségesség gyorsabb felmérésének előnye mellett megtartjuk az átlagok és a szórás (terjedelem) ingadozásának jellemző közvetlen ábrázolásából adódó előnyöket is.



9-17. ábra. Ha a $\operatorname{tg}\varphi = 0{,}40$ félszöghajlású V alakú pauszsablont a hibaösszegvonal utolsó pontjára illesztjük, s a szögszárak közül az összegvonal előző szakasza kívül marad, a termelő folyamat korrekciójára van szükség: *a)* nincs zavar; *b)* túl magas; *c)* túl alacsony a valóságos $\bar{x}$ középérték az előírt x_0 értékhez képest

9.4.4. Az előírt szórások, valamint az adott keverőgép és adalékanyagok által létrehozható szórások ellentmondásai és összhangja

A kontrollkártyás gyártásellenőrzés bevezetése az aszfaltkeverő-telepeken szükségessé teszi, hogy kiindulásul a kívánatos szórás értékét minden vizsgált jellemzőnél felvegyük. *Schuhbauer* kb. 6...8 éves tapasztalatokat összegezve [11, 14] olyan σ legnagyobb megengedhető szórásértékeket, valamint $\pm \Delta\mu\%$ megengedhető végső középérték-eltéréseket javasolt az előírt fix értékektől, amelyek korszerű gépparkkal, gondos munkával még jó minőségű aszfaltot adnak. A javasolt értékeket a kötőanyag-, a töltőanyag- és zúzalék-, ill. kavicstartalomra adta meg, külön a 0/12 mm max. szemnagyságú aszfaltbetonokra és öntött aszfaltokra, külön a 12 mm-nél nagyobb szemnagyságú aszfaltbetonokra és kötőrétegekre, valamint külön a bitumenes útalapokra. Ezeket a javaslatokat a 9-5. táblázat tartalmazza. Több más cikk adatai szerint [15, 16] a javasolt értékek betarthatók, sőt ezeknél szigorúbb határokat is lehetségesnek tartottak.

Mindenesetre a kontrollkártyás minőségellenőrzés hazai bevezetése előtt előre nem lehet megmondani, hogy a 9-5. táblázatban adott megengedett eltérések — főleg a legnagyobb szórásértékek — betarthatók-e, tekintetbe véve a hazai C-25 típusú aszfaltkeverőgépeket. Az adalékanyagok szemeloszlása nemcsak kőbányánként változik, hanem sok esetben egy kőbánya azonos terméknél is erősen ingadozik. Emellett külön kell gondolni a mintavétel hibájának csökkentésére, és főképpen a laboratóriumi vizsgálatok hibáira. Ezek a kontrollkártyás ellenőrzés bevezetésekor a rendszeres laboratóriumi sorozatvizsgálatok során viszonylag hamar normális mértékre csökkenthetők. Mindenesetre gondolni kell ismét arra, hogy a σ_a keverőgép, σ_m mintavételi és a σ_l laboratóriumi eredetű hibák miatti szórásokból adódik a hibahalmozódások törvénye szerint a végeredmény σ szórása (9-10. ábra):

$$\sigma = \sqrt{\sigma_a^2 + \sigma_m^2 + \sigma_l^2}.$$

A kontrollkártyás minőségellenőrzés hazai bevezetésekor tehát külön kell megállapítani az első 15...20 nap ingadozásadatai alapján az alapul veendő szórásértékeket, a kiugró, szélső adatok kikapcsolása mellett. Véglegesen pedig pár évi gyakorlati tapasztalat után lehetne dönteni az egységesen megkövetelhető $\Delta\mu$ és főleg a σ, tehát a megengedhető középérték-eltérés és a megengedhető legnagyobb szórások hazai értékének rögzítésében.

A minőségi jellemzőknek a vonatkozó technológiai utasításokban (pl. ÉKSZ előírásban) megengedett „tűrési határuk" van. Így például a bitumentartalomban az ismert $\Delta B = \pm 0{,}5\%$. A normális, kielégítő eset az, amikor a kontrollkártyás ellenőrzésnek a $\pm 3\sigma_k$ kontrollhatárai az előírt tűréshatárokon belül esnek. Előfordulhat azonban, hogy az adott keverőgéplánccal és adalékanyaggal, a leggondosabb és

9-5. táblázat. Javasolt legnagyobb megengedett középérték-eltérések és szórások értékei tömör aszfaltoknál (Schuhbauer [11])

Aszfaltkeverék fajtája	Anyagfajta	Legnagyobb megengedett középérték-eltérés súly%	Legnagyobb megengedett szórás súly%
1. Aszfaltbeton és öntöttaszfalt-burkolatok 12 mm max. szemnagyságig	bitumen töltőanyag zúzalék	±0,15% ±1,50% ±2,00%	0,22% 1,50% 3,00%
2. 12 mm-nél nagyobb szemnagyságú aszfaltbetonburkolatok és kötőrétegek	bitumen töltőanyag zúzalék	±0,20% ±1,50% ±2,50%	0,30% 1,50% 3,50%
3. Bitumenes útalapok (bitumenes kavics és homok)	bitumen töltőanyag kavics és zúzalék	±0,20% ±1,50% ±4,00%	0,35% 1,75% 4,50%

-szakszerűbb munka mellett sem lehet a σ_a keverőgépi szórást kellően leszorítani, és ekkor a $\pm 3\sigma_k$ kontrollhatárok a tűréshatárokon kényszerűen kívül esnek. Ha a gyártási munka valóban a leggondosabb és legszakszerűbb volt, akkor ez annak a jele, hogy vagy a keverőgéplánc minőségi tulajdonságait kell megjavítani (legalább három frakcióra való osztályozás a meleg anyagnál, pontosabb homokmérlegelés, bitumenadagolás vagy alapjában korszerűbb keverőgép alkalmazása) vagy az adalékanyag összetétel-ingadozását kell leszorítani (gondosabb munkahelyi depónia-elhatárolás, a kőbánya törési és osztályozási technológiájának javítása). Ha ezen intézkedések eredménye nem kielégítő vagy pedig nem hajthatók végre, akkor kellő megalapozottsággal tudomásul kell venni, hogy az egyes jellemzők tűréshatárai az adott géppark és anyagminőségek miatt nem tarthatók be, és meghatározott százalékban túllépés történik.

Ilyen esetben — amíg az aszfaltkeverőgép korszerűsítése vagy cseréje, ill. a kőbánya minősége nem hoz jelentős javulást — ezt a *meghatározott százalékban* való túllépést kénytelenek vagyunk tudomásul venni. Ez a *tudatosság* — amely a minőségjavításnak mindenképpen feltétele — nagy előnye a kontrollkártyás minőségellenőrzésnek, amely világos és egyértelmű helyzetet teremt mind az építtető, mind a kivitelező számára a keverőtelep munkájának és lehetőségeinek a megítélésekor. Ugyanaz a világos helyzet semmiképpen sem érhető el akkor, ha a keverőtelepek munkáját kizárólag a mai átvételi eljárás rendkívül kevés — kilométerenként 1 db — mintájának statisztikai szempontból teljességgel megbízhatatlan minőségi eredményeiből kívánjuk megítélni.

IRODALOM

[1] *Nemesdy Ervin:* A statisztikai átvételi minőségellenőrzés alkalmazási lehetőségei az útépítésben. Mélyépítéstudományi Szemle, 1969. 7...8. 289.

[2] *Nemesdy Ervin:* Gyártásellenőzés az útépítésben egyszerű kontrollkártyás módszerrel. Mélyépítéstudományi Szemle, 1969. 7...8. 297.

[3] *Juran:* Minőségellenőrzés. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1966.

[4] *Kindler:* Matematikai statiszka. BME egyetemi jegyzet, Tankönyvkiadó, Budapest, 1966.

[5] *Felix—Blaha:* Matematikai statisztika a vegyiparban. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1964.

[6] *Storm:* Wahrscheinlichkeitsrechnung und matematische Statistik, statistische Qualitätskontrolle. VEB Fachbuchverlag, Lepzig, 1967.

[7] *Oglio—Zenewitz:* Variability in an Asphalt Concrete Mixt. Public Roads Vol. 34. № 1. April. 1966. Bitumen, 1966. 8. 247.

[8] *Rabe:* Fehlentscheidungen bei Auswertung von Bindemittelgehaltsuntersuchungen. Strasse und Autobahn. 1967. 1. 7.

[9] Controle de fabriacation d'enrobés. Supplement au № 30. Bulletin de liaison des Laboratoires Routiers. Avril. 1968.

[10] *Trattner:* Technische Vertragsgrundlagen für den Bau bituminöser Tragschichten und Fahrbahndecken. Strassen- und Tiefbau, 1968. 8. 578.

[11] *Schuhbauer:* Statistik bei der Überwachung der Produktion von bituminösem Mischgut. Brücke und Strasse, 1968. 5. 147.

[12] *Bechinger:* Abrechnung bituminöser Schichten mit Bohrkernen. Strassen und Tiefbau. 1968. 4. 231.

[13] *Müller:* Die matematisch-statistische Auswertung von Messergebnissen und ihre Anwendung bei der Güteüberwachung von Beton bzw. bituminösem Mischgut im Strassenbau. Die Strasse, 1968. 11. 549.

[14] *Schuhbauer:* Beispiele zur Kontrolle und Bewertung bituminöser Mischungen. Strassen- und Tiefbau. 1967. 12. 809.

[15] *Rabe:* Eigenüberwachung von Mischanlagen für bituminösen Mischgut nach den Grundsätzen der industriellen Qualitätskontrolle. Strasse und Autobahn. 1967. 12. 414.

[16] *Rabe—Meyer:* Das Fahrbahndeckenlos F 1 auf der BaB Hamburg Bremen. Ausführung und Güteüberwachung, Bitumen 1968. 3. 61.

[17] *Wester:* Qualitätskontrolle von Asphaltbauweisen. Strassen- und Tiefbau, 1969. 1. 30.

[18] *Page:* Cumulative sum charts. Technometrics, 1961. 3. 1...9.

[19] *Durrieu:* Pour une nouvelle politique das controles d'exécution en technique routiére. Revue Générale des Routes, 1967. Avril № 420. 45.; Mélyépítéstudományi Szemle, 1968. 6. 283.

[20] *Thurmul F. Mc Machon:* Quality Assurance in Highway Constructions. Public Roads, 1969. February, p. 129. April, p. 166.

[21] *von der Plas:* Quality Control-Principles and Methods. 1-er Symposium Européen sur les Revetements Betonnés, Paris, 1969.