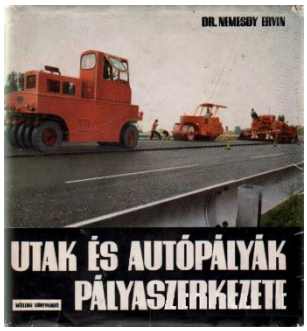
DR. NEMESDY ERVIN: **UTAK ÉS AUTÓPÁLYÁK PÁLYASZERKEZETE - Technológia – Építés**
MŰSZAKI KÖNYVKIADÓ – BUDAPEST, 1971; o590



A szerzői jog tulajdonosainak engedélyével.

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

RÉSZLETES TARTALOMJEGYZÉK

7 BETONBURKOLATOK ÉS KIVITELEZÉSÜK 451
7.1 Betonburkolatok alkalmazása és fejlődése 451
7.1.1 Betonburkolatok fő előnyei és hátrányai 451
7.1.2 A betonburkolatok alkalmazási köre 451
7.1.3 A betonútépítés régebbi fejlődésének áttekintése 452
7.2 Betonburkolatok erőjátékának befolyása a szerkezetre és építésére 458
7.2.1 A betonlemez igénybevételének fajtái 458
7.2.2 Az igénybevételek halmozódása, a hézagok jelentősége 461
7.2.3 A beton fáradása és befolyása az élettartamra 462
7.2.4 A betonburkolat viselkedésének fő tapasztalatai az AASHO-Road-Test során 463
7.3 A betonburkolatok anyaga és összetétele 466
7.3.1 A betonburkolatokhoz alkalmas cementek 467
7.3.1.1 Általános szilárdsági követelmények 467
7.3.1.2 Speciális követelmények az útcementekkel szemben 468
7.3.1.3 A zsugorodási repedésveszély és a cement kémiai összetételének összefüggései 470
7.3.2 A betonburkolatok adalékanyaga és összetétele 471
7.3.2.1 Általános szempontok 471
7.3.2.2 Hazai előírások a betonburkolat anyagaira 472
7.3.2.3 Az anyagok tisztasága és a homokfrakció feladata az útbetonban 474
7.3.2.4 Kihagyásos szemeloszlású útbeton-adalékanyag tervezése 478
7.3.2.5 A víz—cement-tényező és a bedolgozhatóság 480
7.3.2.6 A légpórusképző anyagok és a légpórusok az útbetonban 481
7.4 Betonburkolatok pályaszerkezete 484
7.4.1 Példák betonburkolatok pályaszerkezetére 484
7.4.2 Betonburkolatok alapja 484
7.4.2.1 Az alaprétegek fajtái 484
7.4.2.2 Az alapréteg alkalmazásának szerkezeti, kivitelezési okai 485
7.4.2.3 Az alapréteg alkalmazásának teherbíróképességi követelményei 486
7.4.3 A betonburkolat, a betonlemez 488
7.4.3.1 A betonlemez vastagsága utakon 488
7.4.3.2 Betonburkolatok hézagainak kiképzése 489
7.4.3.3 Teherátadódás létrehozása a hézagoknál teherátadó acélbetétekkel és anélkül 494
7.4.3.4 Betonburkolatok korszerű hézagrendszerei 497
7.4.3.5 Felületi lemezvasalás alkalmazása betonburkolatok esetén 499
7.4.3.6 Feszített betonburkolatok jelentősége közutakon 500
7.5 Betonburkolatok kivitelezése 501
7.5.1 Az útbeton készítésének és szállításának rendszerei 501
7.5.1.1 Központi keverőtelep és a kész beton szállítása 503
7.5.1.2 Adalékanyag-szállítás és helyszíni betonkeverés 506
7.5.1.3 A keverő—szállító gépkocsikkal való betonútépítés 507

7.5.2 Betonburkolat-építés formasínes rendszerű géplánccal 509
7.5.2.1 Előmunkálatok, formasínfektetés és finom tükör készítése 509
7.5.2.2 A betonburkolat-építő géplánc gépei és munkájuk 510
7.5.2.3 A betonlemez utókezelése 519
7.5.2.4 A hézagvágás és a zsugorodási vadrepedések 521
7.5.2.5 A betonlemez érdesítése 523
7.5.3 Betonburkolat-építés csúszózsalus finiserrel 524
7.5.3.1 A csúszózsalus betonútépítési eljárás kialakulása és elterjedése 524
7.5.3.2 Az előmunkálatok és az ágyazat készítése csúszózsalus építési módszerhez 524
7.5.3.3 A csúszózsalus finiser és munkája 525
7.5.3.4 Az utánkezelés csúszózsalus gép esetén 528
7.5.3.5 A csúszózsalus építési mód külön követelményei a beton minőségével szemben 528
7.5.4 A csúszózsalus és a formasines betonútépítési technológia összehasonlítása és értékelése 529
7.5.5 Kisforgalmú utak betonburkolatának építése aszfaltfiniser típusú csúszózsalus módszerrel 531
7.5.6 Betonburkolat-építés anyagvizsgálata és ellenőrzése 534
7.5.6.1 Építés előtti betonvizsgálatok 535
7.5.6.2 Építés alatti betonvizsgálatok 535
7.5.6.3 Építés utáni betonvizsgálatok 537
7.5.7 Az építési ellenőrzés fő feladatai 538
7.5.8 Betonlemezek utólagos javításának elvei 539
Irodalom 539

7. Betonburkolatok és kivitelezésük

7.1. BETONBURKOLATOK ALKALMAZÁSA ÉS FEJLŐDÉSE

7.1.1. Betonburkolatok fő előnyei és hátrányai

Ellentétben az aszfaltburkolatú hajlékony pályaszerkezetekkel, a betonburkolat *merev*. Jellegzetes tulajdonsága, hogy a burkolatot és a burkolatalapot összevontan képviselő, jelentős szilárdságú, kb. 18...25 cm vastag cementbetonlemez a járműterhelésekből adódó nyomásokat merevsége miatt nagy alapterületre osztja szét. Emiatt a betonlemezek, betontáblák teher alatti behajlása jóval kisebb, mint a hajlékony pályaszerkezeteké, és általában 0,3...0,4 mm alatt marad. A betonburkolatot viszonylag ritkábban alkalmazzák, elsősorban nehéz forgalom, főleg új nyomon épített főutak vagy autópályák esetén érvényesülnek előnyei.

A betonburkolat fő előnyei a következők:

1. Jó anyagok és sikeres kivitelezés mellett a betonburkolat nagy és nehéz forgalom lebonyolítására alkalmas, kedvezően magas, három évtized körüli élettartam mellett.

2. A jó minőségű betonburkolat az úthasználók részére igen kedvező és előnyös burkolatfelületet ad. Nem magas, de még kielégítő érdesség mellett kiváló egyenletességet lehet elérni. Ezért a jó betonburkolat viszonylagos alacsony közlekedési költségekkel jár.

3. A betonburkolat fenntartási költségei és munkaigénye a legalacsonyabb a burkolatfajták között.

Régebben ezeket az előnyöket nehéz és nagy forgalom esetén csak betonburkolatokkal lehetett létrehozni, aszfaltburkolatokkal általában nem. Az utóbbi évtizedekben azonban a nehéz aszfaltburkolatok (aszfaltbeton és öntött aszfalt), a többrétegű korszerű hajlékony pályaszerkezetek mind műszaki, mind gazdasági területen teljesen egyenrangú versenytársak lettek. Ezekkel szemben a betonburkolatok következő *hátrányos tulajdonságait* kell mérlegelnünk.

1. A betonburkolatot kizárólag forgalomtól teljesen és huzamosan elzárt területen lehet építeni, ezért alkalmazása majdnem kizárólag új nyomon vezetett utakra, autópályákra korlátozódik. Útkorszerűsítéshez ezért igen ritkán alkalmazzák.

2. A betonburkolat nem teszi lehetővé a pályaszerkezet fokozatos és tervszerű erősítését, amint ez aszfaltburkolatok esetén lehetséges. A betonburkolat átépítése vagy megerősítése csaknem ugyanakkora költséggel és munkával jár, mint az új betonburkolat építése.

3. A betonburkolat esetleges építési hibáit, későbbi meghibásodásait csak igen körülményesen, nagy költséggel, hosszú elkorlátozásokkal, a forgalom jelentős zavarásával lehet javítani (ellentétben az aszfaltburkolatokkal). Ezért betonburkolatokat csak akkor szabad építeni, ha megfelelően jó minőségű építési anyagok, korszerű és jó állapotban üzemelt betonútépítő-géplánc, valamint szakszerű irányítás mellett elég lelkiismeretes munkaerő feltétlen rendelkezésre állanak. Az aszfaltburkolat építésekor néhol kényszerűen adódó kivitelezési kompromisszumok által okozott hibák könnyebben javíthatók, betonburkolat esetén ezek negatív hatása sokkal súlyosabban esik latba, javításuk sokkal nehezebb.

7.1.2. A betonburkolatok alkalmazási köre

A betonburkolatok gyakorlati alkalmazása az előbbi előnyök és hátrányok hatásaképpen elsősorban a legnehezebb forgalmú, új nyomvonalon épült utak, autópályák egy részén terjedt el és vált be. Általában azonban lényegesen kisebb összhosszúságban alkalmazzák őket, mint az aszfaltburkolatokat. Hogy adott esetben egy nagyforgalmú főútvonal vagy autópálya burkolata beton vagy aszfalt, azt ma már a műszaki lehetőségek egyenértékűsége miatt elsősorban gazdasági, anyagellátási, gépesítési szempontok döntik el.

Magyarországon az 1950-es évek közepéig a nagyforgalmú főútvonalak kiépítését európai viszonylatban is igen nagy arányban végezték betonburkolattal. Jelenleg kereken 1500 km betonburkolatunk van, amely a nagyforgalmú, kb. 6000 km-es főúthálózatunknak kb. 25%-a, a kereken 30 000 km-es teljes állami úthálózatunknak pedig kb. 5%-a. Ezen

időszakban jó minőségű bitumenes kötőanyagot nehezen lehetetett hazánkban előállítani, és a nehéz aszfaltbeton-burkolatok korszerű gépesített építése még csak igen szűk keretek között mozgott. Emellett a második világháború előtt a cementgyárak igen nagymértékben segítették elő a számunkra igen fontos új piacot jelentő betonútépítést.

1955 óta a jó minőségű nagylengyeli bitumen megjelenése, az aszfaltútépítés rohamos fejlődése, a cementgyáraink más irányban való erős lekötöttsége, ezzel a betonútépítés fejlődésében való viszonylagos érdektelenségük és a gyakori útépítési cementhiányok arra vezettek, hogy a hazai betonútépítés az utolsó évtizedben majdnem kizárólag a szerény keretek között fejlődő autópálya-építésre korlátozódott (M-7 autópálya, Budapest—Siófok).

A *Szovjetunióban* a betonútépítés a főúthálózat kiépítésében megtartotta és fejlesztette kiemelkedő fontosságát, mivel a Szovjetunió természeti és klimatikus viszonyai között az útépítés szempontjából a cement mint kötőanyag igen sokszor előnyösebb a bitumennél, minőség és alkalmazhatóság szempontjából egyaránt. Ez magyarázza a Szovjetunióban a betonutak hosszarányának állandó fokozódását a főúthálózaton belül.

Az *USA* korszerű burkolattal ellátott úthálózat részének 8%-a betonburkolat; a legnehezebb terhelésű és forgalmú autópályák jelentős részben betonburkolattal épültek és épülnek.

Az európai nyugati államok között a legnagyobb betonúthálózata a *Német Szövetségi Köztársaságnak* van. Az 1967. évi adatok szerint a kereken 160 000 km osztályozott állami úthálózatnak 1,7%-a, kereken 2700 km betonburkolatú, ebből 2200 km autópálya és 500 km pedig nagyforgalmú főút. Jellegzetes fejlődés viszont, hogy amíg a második világháború előtt az autópályákat majdnem egészükben betonburkolattal építették, addig az utóbbi hosszabb időszakban az újabb autópályák építésekor és a régebbiek átépítésekor a nehéz aszfaltburkolatok erősen előretörtek. Amíg 1962 elején az autópályák hossza kb. 80%:20%-ban oszlott meg a beton- és aszfaltburkolatok között, addig 1967 elején az arány — 5 évvel később — már 64%:36%-ra módosult, tehát jelentősen csökkent a betonburkolatok aránya, 1967 elején a kb. 2200 km betonburkolatú autópálya mellett már kb. 1200 km aszfaltburkolatú autópálya volt üzemben. Az arányváltozást részben az is fokozta, hogy sok régi elhasználódott betonburkolatú szakaszt az átépítéskor 20...22 cm összvastagságú aszfaltburkolattal építették át.

Franciaországban betonburkolatot csak az utolsó két évtizedben kezdtek építeni, kizárólag az autópályák kb. 25%-ára terjedően. Így 1969 elejéig az akkor kereken 1200 km összhosszúságú francia autópályákon 250 km betonburkolat és 950 km aszfaltbeton-burkolat épült. Hasonló az arány Angliában, amíg Olaszország autópályáin egyáltalán nem alkalmazott betonburkolatot.

Ausztriában viszont eddig az összes autópályát betonburkolattal készítették. Nagyforgalmú, ún. szövetségi úthálózatán 9000 km-ből cca 6%, azaz kereken 550 km betonburkolat fekszik.

A betonburkolat egyik legújabb alkalmazási területe a nagyforgalmú utakon és autópályákon kívül — egyelőre viszonylag kisebb hosszakban — a kisforgalmú, de fontosabb mezőgazdasági utak, amelyeknél a fenntartási munkát több évtizedre minimális szinten lehet tartani.

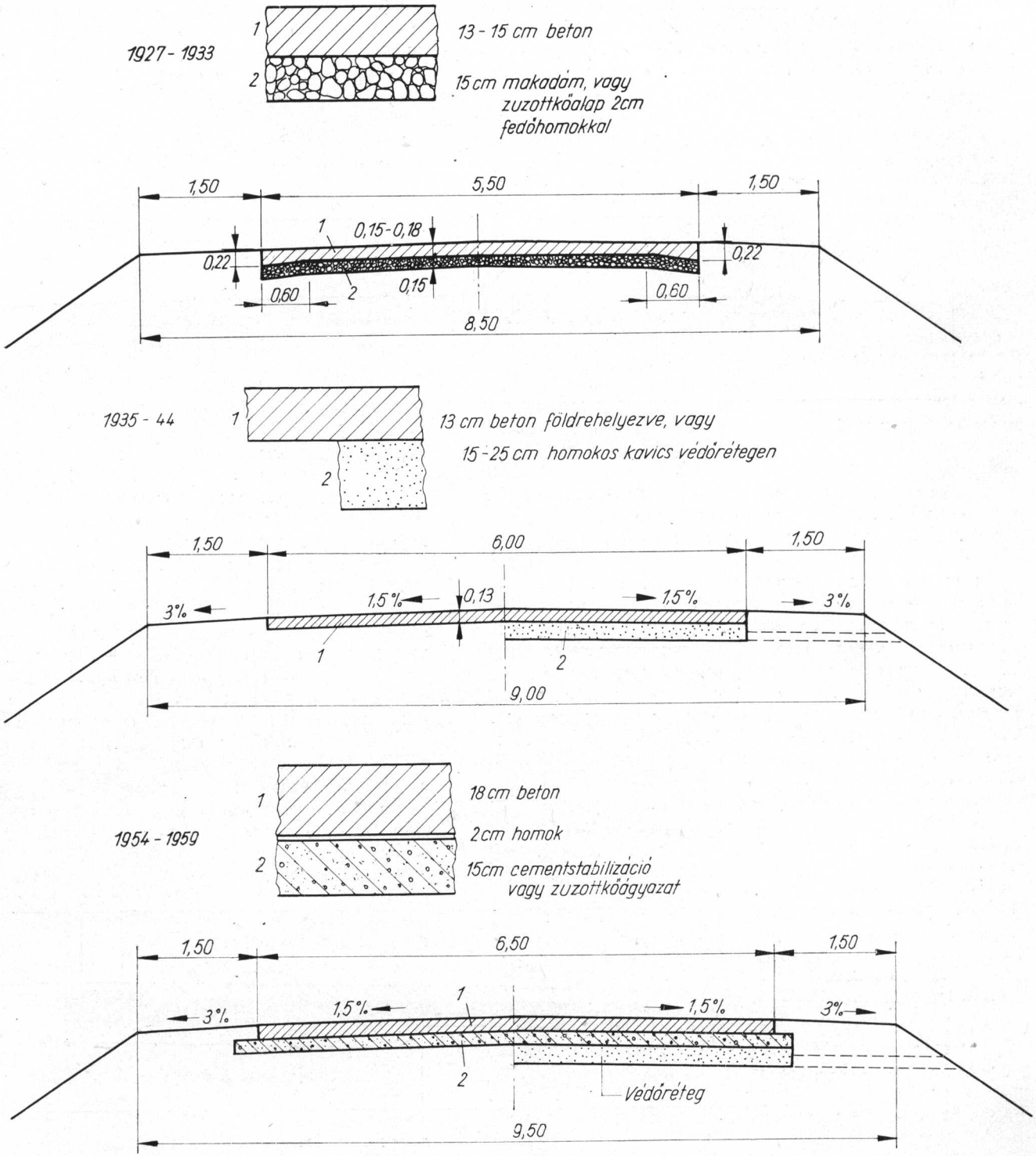
7.1.3. A betonútépítés régebbi fejlődésének áttekintése

Bár kísérletek, próbálkozások az első betonburkolatok alkalmazásával még a múlt században, a vasbeton építés kialakulásával párhuzamosan több országban voltak, az első nagyobb méretű fejlődés Amerikában indult meg kb. 1909...1923 között, ahol addig 23 000 km betonutat építettek, igen jó tapasztalatokkal. Szórványos próbálkozásokat leszámítva, az európai fejlődés a betonutak építésében kb. 1926 körül indul meg. Magyarországon viszonylag igen korán, 1927-ben épült sikeres betonburkolat (10. úton Nyergesújfalu mellett), amelynek egyes szakaszai még ma, 45 év után is forgalomban vannak. Itt már amerikai rendszerű döngölőpallós finiserrel, gépi úton dolgozták be a bazaltbetont. 1933 óta főleg magyar gyártmányú döngölőpallós bedolgozógéppel építették betonútjainkat, egészen 1949-ig. A korai magyar betonburkolatok a húszas évek vége óta már igen jó minőségűek voltak, és az európai fejlődés élcsoportjába tartoztak. A hazai betonútépítés első nagy időszaka 1935...1944 között volt, 9 év alatt kb. 700 km betonút épült. A háború által megakasztott fejlődést a felszabadulás és a kezdeti újjáépítés időszaka után a betonútépítés második virágkora folytatta, amikor 1949... ...1954 között kb. 370 km betonút épült. Hazánkban tehát kb. évi 70...75 km betonút építése volt eddig a legnagyobb huzamos teljesítmény. Ezt az ütemet később a cementhiány, valamint a jó minőségű nagylengyeli bitumen megjelenése jelentősen leszállította és lényegében az autópálya-építésre korlátozta.

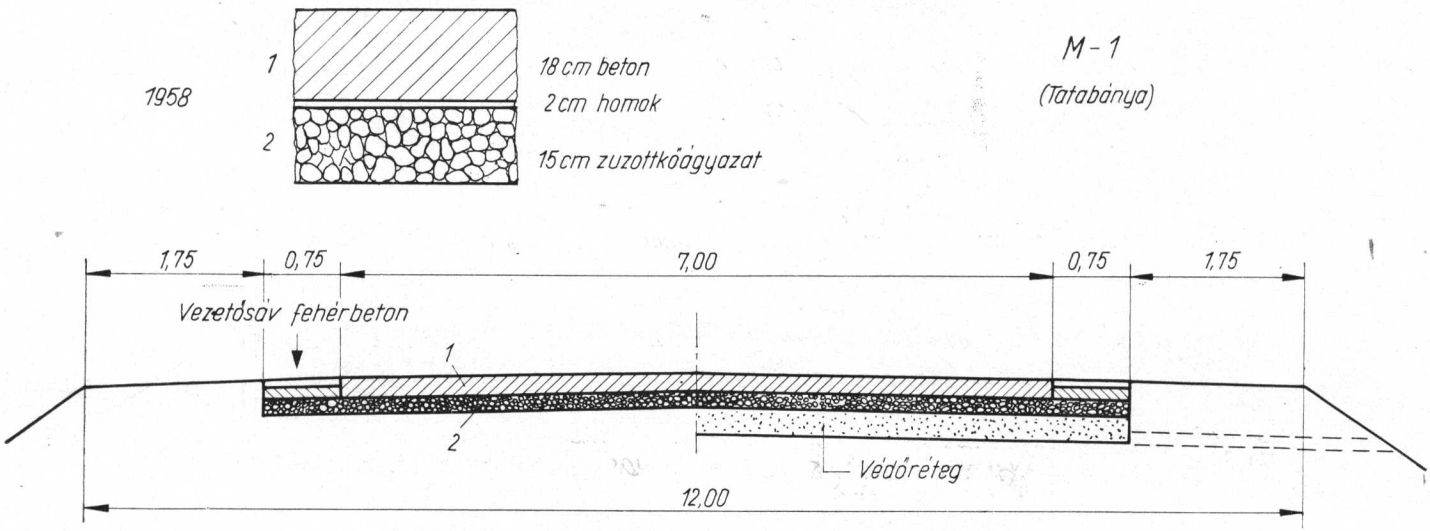
A fejlődést jól mutatják az 1*a*...*g*/7. ábrákon látható keresztmetszetek, amelyek a különböző egymásutáni időszakokban alkalmazott betonburkolat-vastagságokat, -szélességeket és a pályaszerkezet rétegeit is ábrázolják.

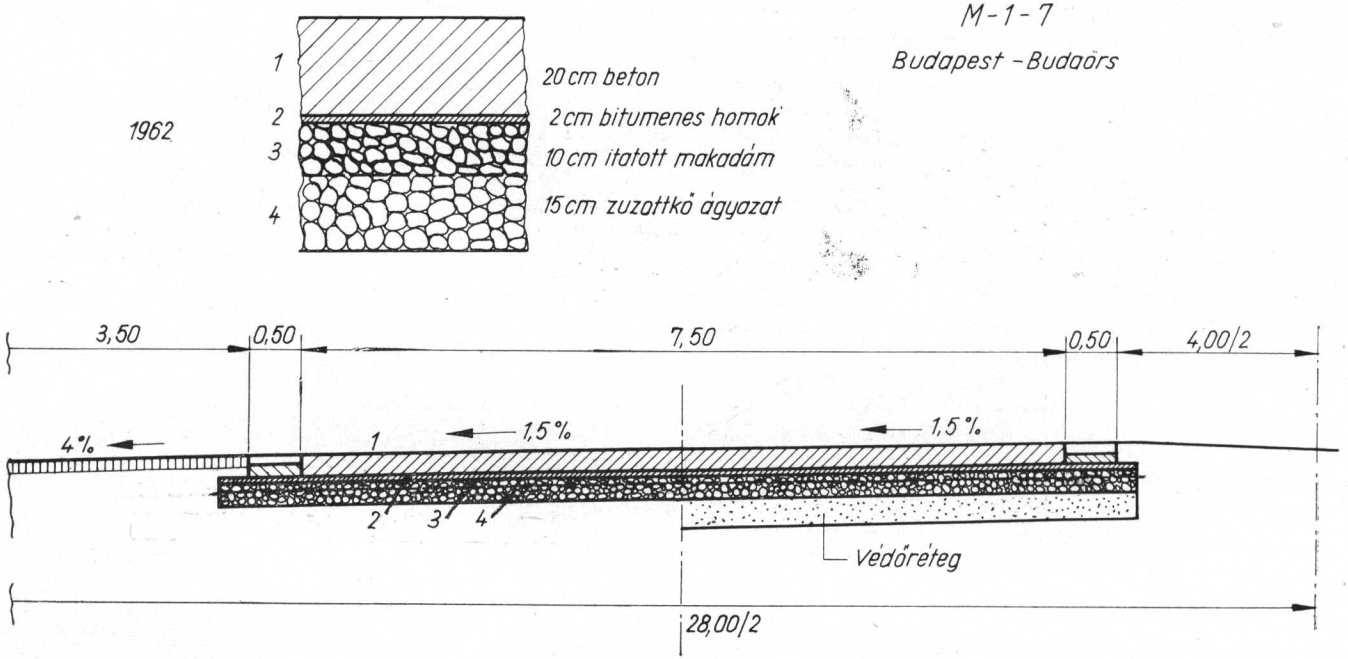
a) A legelső betonburkolatok 15 cm vastagok voltak, és a régi, de kiszélesített makadámburkolatra, mint alapra feküdtek fel. Kereszthézagokat alkalmaztak, hosszhézagot még nem. Az első évtizedben (kb. 1934-ig) még a betonlemezt a szélek felé vastagították, annak vélt sztatikai előnyei miatt. Később ezt elhagyták, és a betonlemezt ma is végig állandó vastagságban készítik (7-1*a* ábra).

b) A betonlemez alá az első időszakban mindig makadámburkolat-alapot, ill. új nyomon legalább 10...15 cm vastag hengerelt zúzottkő alapot alkalmaztak. Kb. 1933...35.

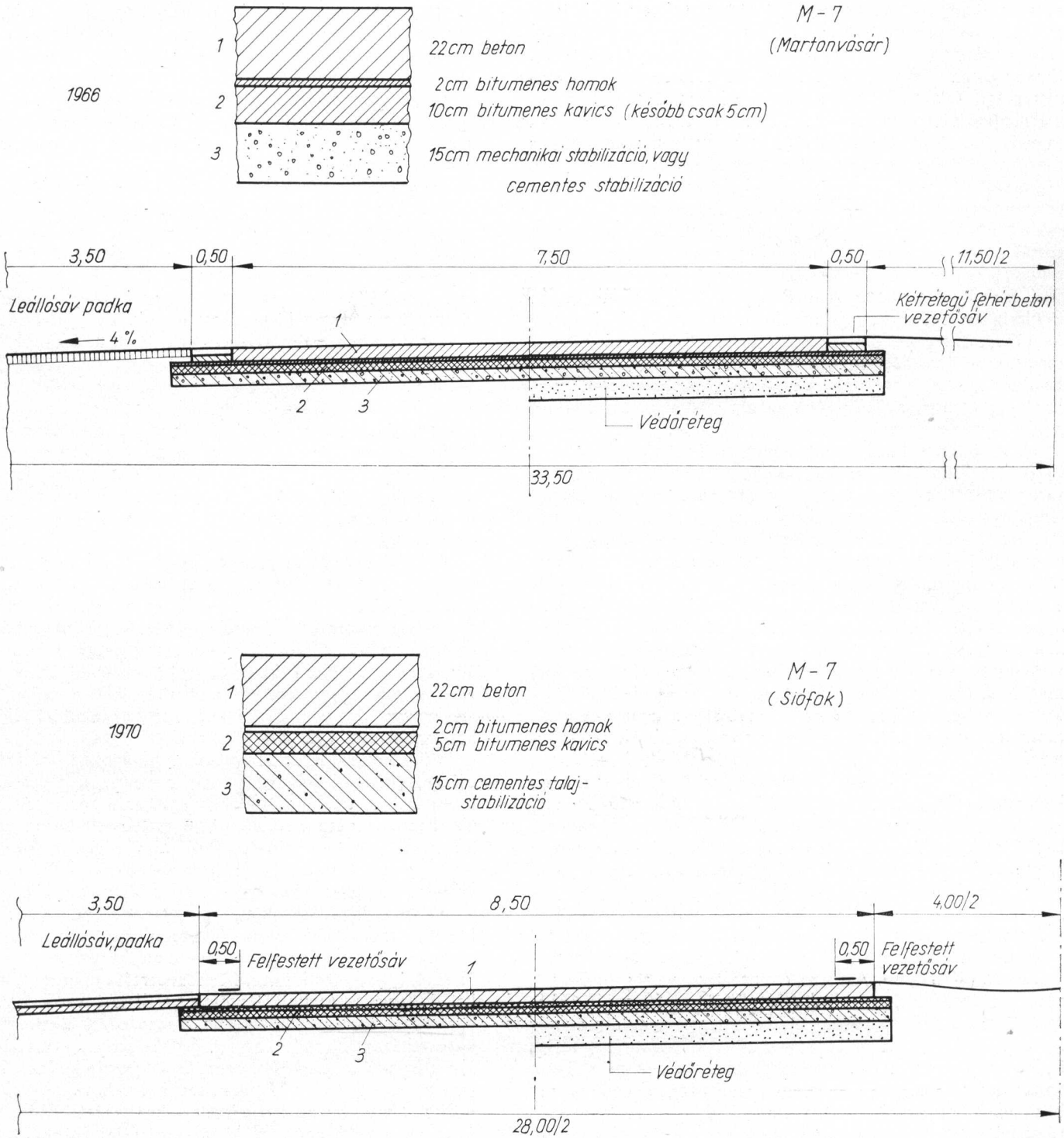


7-1a...1g *ábra*. A magyar betonutak jellegzetes keresztmetszetei és pályaszerkezetei 1927 és 1970 között





7-1a...1g ábra. A magyar betonutak jellegzetes keresztmetszetei és pályaszerkezetei 1927 és 1970 között



7-1a...1g ábra. A magyar betonutak jellegzetes keresztmetszetei és pályaszerkezetei 1927 és 1971 között

évektől kezdve a talajmechanikai vizsgálatok gyakorlati elterjedésével párhuzamosan 16, majd *13 cm vastag*, alap *nélküli talajra helyezett betonburkolatot építettek* (7-1*b* ábra). Csak azokon a szakaszokon írtak elő változó (15...30 cm) vastagságú talajjavító réteget ágyazatképpen, ahol a talajmechanikai vizsgálatok az altalajt erősen térfogatváltozónak vagy fagyveszélyesnek mutatták. Ezzel az igen takarékos és merész szerkezeti elrendezéssel építették meg 1935...1944 között a kb. 700 km betonutat. A 13 cm vékony — technikai minimumnak számító — betonlemez-vastagságot a régi kisebb 3 Mp legnagyobb keréknyomás feltételezésével választották meg, majd később számításokkal is igazolták. Ez a méret a második világháború előtti kisebb tengelysúlyokat és a kisebb forgalmat jól bírta. A mai nagyobb forgalomnak és kb. 5 Mp-ig terjedő keréknyomásoknak azonban már kevésbé felel meg, és a repedések szaporodása a minőséget és a fenntartási munkákat hátrányosan befolyásolja. Ugyanakkor azonban meg kell jegyezni, hogy a tapasztalt betonburkolati romlások egy igen jelentős részét a világháború alatti kíméletlen, nehéz forgalom, a nehéz harckocsik okozták.

c) A felszabadulás utáni nagyobb betonútépítésekben 1948...1954 között a megnövekedett tengelynyomások és várható forgalom miatt áttértek a nagyobb, 18 cm-es betonlemez-vastagságra és ugyanakkor a betonlemez alatt végigmenően 15 cm vastag *stabilizált alapréteget* alkalmaztak, mechanikai vagy cementes talajstabilizáció alkalmazásával (7-1*c* ábra). Ezen stabilizált réteg feladata csak részben volt a nagyobb ágyazási tényező, tehát a nagyobb teherbíróképesség létrehozása. A stabilizált alapréteg feladata később már az is volt, hogy részben a munkahelyi, építés alatti forgalmat (adalékanyag-szállító tehergépkocsik forgalmát) megoldja. Mindez kétségtelenül növelte az újabb betonburkolatok teherbíró-képességét és tartósságát, ugyanakkor viszont lényegesen költségesebbé tette a betonburkolat alkalmazását. Különösen költséges megoldás volt az, amikor a földmunkára kb. 15 cm vastag zúzottkő alapréteget alkalmaztak (1958...62, 7-1*d* ábra). Akár stabilizált, akár zúzottkő alapot alkalmaztak, felette kb. 2 cm finom homokrétegből alakították ki a teljesen sima úttükröt a betonlemez alatt, a dilatációs mozgások elősegítése és a dilatációs repedések megelőzése céljából.

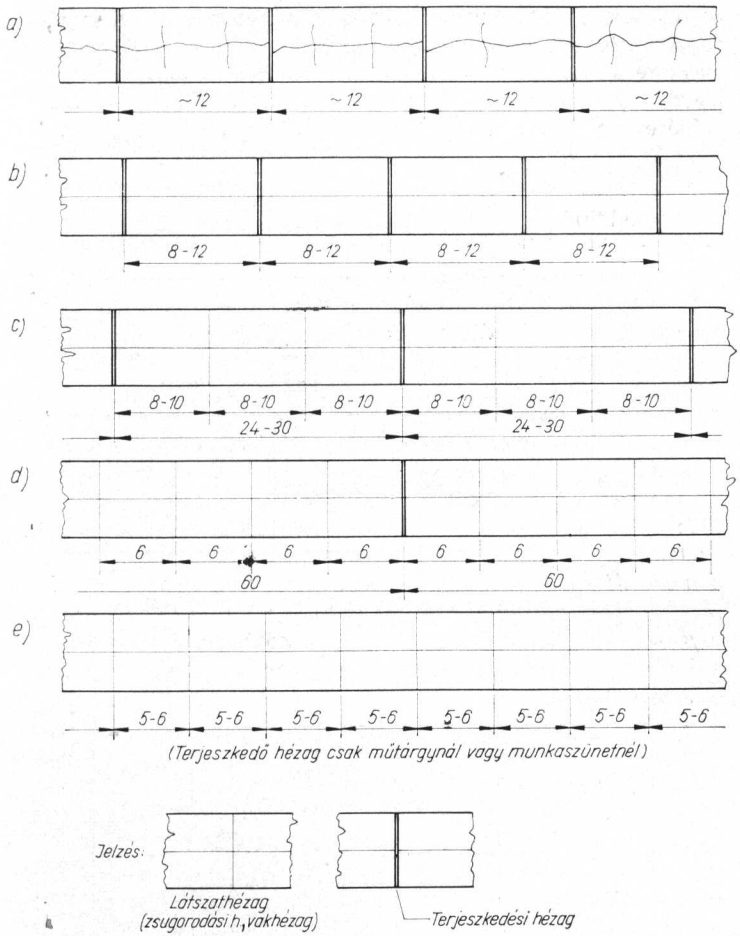
d) Az 1962-ben kezdődő autópálya-építések első éveiben a *betonlemez vastagsága* 18 cm-ről 20 cm-re, majd 1966-tól 22 cm-re növekedett, végül 1971-től 24 cm vastagságot rendeltek el. (7-1e ábra). Az alap eleinte igen vastag hengerelt zúzottkőréteg volt, kb. 15 cm Z 65/100 és 10 cm Z 45/65, azaz összesen 25 cm vastag új makadámalap, amelyet még hígított bitumen permetezésével itattak. Változás volt az is, hogy közvetlenül a betonlemez alatt már nem a 2 cm vastag homokréteggel, hanem egy 2 cm vastag melegen kevert bitumenes homokkal (U-10) alakították ki a sima, egyenletes tükörfelületet. Ennek így még lefelé szigetelő hatása is van, ezért a betonlemez kötéséhez szükséges vizet jobban megőrizte a lefelé való elszivárgástól, alulról pedig az agresszív talajvíz ellen védte a beton anyagát. Az így kiképzett merev pályaszerkezet igen anyagigényes és igen költséges volt. Ugyanakkor pedig ennek ellenére a sűrűn végzett tárcsás mérések azt mutatták, hogy a teherbíró-képesség és a mért ágyazási tényezők korántsem olyan kedvező értékűek, ami a nagy hézagtartalmú vastag zúzottkőrétegek nagy költség- és anyagigényét indokolhatná (7-3*a* ábra).

e) A külföldi és hazai tapasztalatok kiértékelése után a 7-1*f* és 7-1*g* ábrán látható, már korszerűbb és gazdaságosabb megoldású pályaszerkezetet alkalmazták 1964 óta az M-7 autópálya építéséhez. A földmunka felett 15 cm vastag mechanikai vagy cementes talajstabilizációs réteg készül, majd erre 5 cm vastagságban melegen kevert bitumenes kavicson 2 cm vastag bitumenes homok. Ez a pályaszerkezet egyrészt a hézagos zúzottkőrétegnél jóval kedvezőbb teherbíró-képességű, nagyobb ágyazási tényezőjű réteget ad a betonlemez alá. Másrészt a drága és nagy szállítást igénylő zúzottkő elmaradásával a helyi anyagok kiterjedt alkalmazása miatt a költségek és a szállítási igények jelentősen mérséklődnek. Külön fontos előny még, hogy a bitumenes kavics vagy homok igen jól bírja a jelentős munkahelyi forgalmat, anyag-, ill. betonszállítást és a beton kötésének és szilárdulásának ideje alatt jól szigetel a betonban levő víz elszivárgásával szemben.

A *betonburkolat szélessége* a kezdeti 5,50 m-ről a forgalmi igények fokozódásával az autópályákon 7,50 m-re nőtt. Mellette külön-külön készítették el az 50...50 cm széles optikai vezetősávokat, amelyek kétrétegű betonból, alul kavicsbetonból, a felső 5 cm-es réteg pedig fehérbetonból állt. 1969 óta a munkába állított új korszerűbb betonútépítő géplánc már egyszerre, egy menetben 8,50 m széles betonlemezt épít, és a vezetősáv kialakítását burkolati jel felfestéssel kedvezőbben oldják meg.

A betonburkolatot az építéskor hézagokkal táblákká kell osztani annak érdekében, hogy megelőzzük a szabálytalan repedéseket, amelyek különben részben a beton szilárdulása alatti zsugorodáson, részben a megszilárdult beton első téli idő alatti hidegben való összehúzódása, végül az egyenlőtlen felmelegedés hatása miatt keletkeznének.

Az első időszakban csak *kereszthézagokat* alkalmaztak, 8...12 m-enként, a teljes keresztmetszetben (7-2. ábra). Mivel a tapasztalat szerint a betonlemezeken szabálytalan zegzugos irányú hosszrepedések keletkeztek pár év alatt, és ezek bitumenes kiöntése és fenntartása nehézkes, esztétikai és forgalomtechnikai szempontból is zavaró volt, csakhamar a burkolat tengelyében *hosszhézagot* alkalmaztak. A kereszthézagok eredetileg mindig a keresztmetszeten teljesen áthaladó *terjeszkedési hézagként* készültek. Ezek kialakítása az utólag kivett hézaglemezekkel nehézkes volt, és sok utólagos helyi burkolatromlást eredményezett. Ezért később áttértek a *vakhézagok* alkalmazására (7-3. ábra). Ezeknél a keresztmetszetnek csak kb. 1/3 vastagságát gyengítik meg

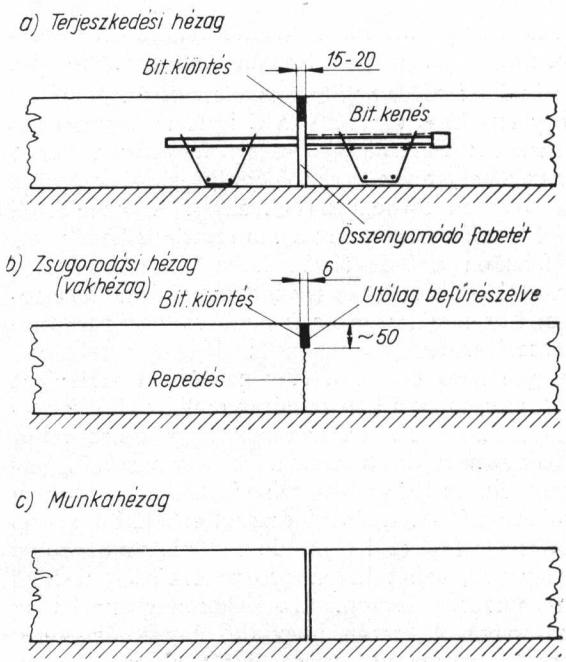


7-2. *ábra.* Betonburkolatok hézagrendszereinek fejlődése hazánkban

(régebben kivehető hézaglemezekkel, ma inkább utólagos gépi hézagvágással). Ezzel a repedések helyét előre meg lehet szabni. Készítésük könnyebb és a későbbi burkolatromlások sokkal kevésbé jelentkeznek a vakhézagok mellett. A keresztbevágásokat általában mint vakhézagokat (zsugorodási hézagokat) 6, 8, 10 m-enként képezték ki, de minden 3., 4. hézag terjeszkedési hézag volt, teljes lemezkeresztmetszetben való elválasztással. A terjeszkedési hézagok így 24...36 m-enként következtek, közöttük tehát több zsugorodási hézag helyezkedett el. Az utóbbi időszakban — a külföldi fejlődésnek és a hazai kísérleti szakaszok jó eredményeinek hatására — a terjeszkedési hézagokat tovább ritkították, és csak 60 m-enként alkalmazták, a zsugorodási hézagokat pedig sűrítve, kb. 6 m-enként létesítették utólagos hézagvágással. A további fejlődés ezután már a *terjeszkedési hézagok alkalmazásának teljes elhagyása* volt. Ma csak műtárgyak előtt és után, építenek terjeszkedési hézagot, ezzel szemben minden 5 m távolságra zsugorodási hézagokat létesítenek. Ezek az utóbbi idők felismerései szerint nemcsak a nyári—téli, hanem a napi hőingadozások miatt keletkező hőfeszültségeket, elsősorban a vetemedési húzófeszültségek nagyságát is kedvezően le tudják csökkenteni. A kialakuló nyomófeszültségeket a beton káros következmények nélkül felveszi.

Több állam építési gyakorlatával szemben nálunk acélhálót, tehát teljes területre kiterjedő *lemezvasalást* nem alkalmaztak régebben sem. A jövőben sem várható ennek hazai elterjedése, mivel ennek hatástalanságát pl. az 1960. évi AASHO-kísérletek jól kimutatták. Ezzel szemben a terjeszkedési hézagoknál a lépcsőképződés elkerülésére, a teher átadására igen hasznosak és fontosak a rövid, 50...70 cm hosszú köracélból készült *összekötő vasak* (7-3. ábra). Ezeket az utóbbi évtizedben alkalmazzák hazánkban.

Megemlítjük még, hogy a betonlemez anyaga nálunk majdnem kizárólagosan *egyrétegű* beton. Az igen gondosan, általában 6 frakcióból összeállított adalékanyagban túlnyomó a jó minőségű nemeszúzalék (bazaltbeton); ezzel részben nagy kopásállóságot, részben az elsősorban fontos magas húzószilárdságot igyekszünk létrehozni. Az eddig alkalmazott C-600 nagy szilárdságú portlandcement adagolása általában 350 kg/m³, a megkövetelt húzószilárdság a 42 napos betonnál átlag 50 kp/cm² volt, a megkövetelt nyomószilárdság pedig átlag 400 kp/cm².



7-3. *ábra.* Különböző funkciójú hézagkiképzések betonburkolatban

7.2. BETONBURKOLATOK ERŐJÁTÉKÁNAK BEFOLYÁSA A SZERKEZETRE ÉS ÉPÍTÉSÉRE

A merev pályaszerkezet tervezési, méretezési módszereit, számítási eljárásait nem ebben a munkában tárgyaljuk. A betonlemez erőjátékának, igénybevételeinek leíró jellegű általános ismertetése azonban feltétlenül szükséges ahhoz, hogy a szerkezeti kialakítás és a kivitelezés korszerű követelményeit és módszereit megalapozottan tárgyalhassuk. A számítási eljárások részleteiről lásd a [7, 15, 28] irodalmat.

7.2.1. A betonlemez igénybevételének fajtái

A betonlemezben főleg háromféle feszültségfajta értékei halmozódhatnak, s kedvezőtlen esetben táblarepedést, esetleg rövid idő alatt számos táblarepedést okozhatnak, s ezzel az élettartamot erősen lerövidíthetik. Ezek:

— a járműterhelés miatti hajlítófeszültségek;

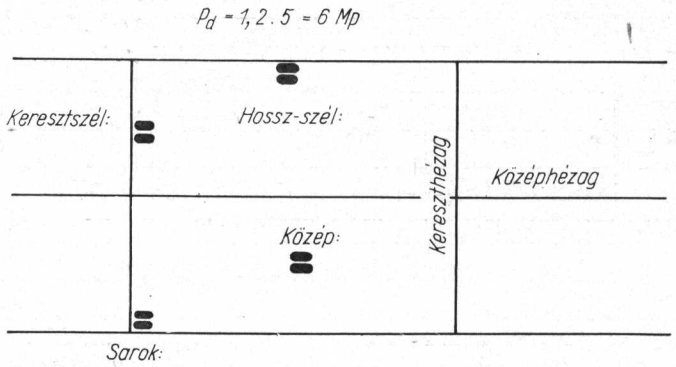
— a táblák egyenlőtlen felmelegedéséből és lehűléséből származó vetemedési hajlítófeszültségek;

— a közel egyenletes hőmérséklet-emelkedésekből vagy -süllyedésekből származó húzó- vagy nyomófeszültség.

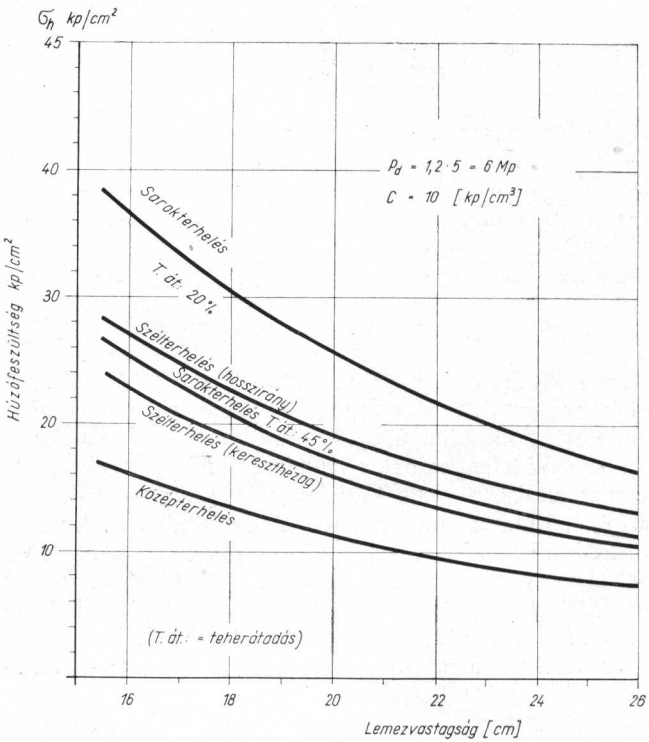
A fő tényezőket, a számítások és kísérletek, mérések eredményeit tartalmazó diagramok alapján mutatjuk be [7].

a) *Járműterhelésből adódó hajlítási húzófeszültség.* A merev betontábla egy rugalmas ágyazású, a C kp/cm³ ágyazási tényezővel jellemzett teherbíró-képességű ágyazaton fekvő rugalmas lemez, amelyet a mértékadó kerékterhelés négyféle jellegzetes helyzetben terhelhet (7-4. ábra). A terhelésből adódó hajlítási húzófeszültségeket 5 Mp sztatikus keréknyomásnak megfelelően a 7-5. ábrán láthatjuk *Westergaard* számos kísérlettel ellenőrzött és javított számításmódja alapján. A hajlítási húzófeszültségek a h lemezvastagság növelésével természetszerűleg csökkennek; legveszélytelenebb a lemez közepén ható terhelés. Már nagyobb feszültséget okoz a szélterhelés, főleg a kereszthézag mellett álló keréksúly. A legkedvezőtlenebb viszont a sarok felett álló terhelés, főleg akkor, ha a szomszédos betonlemezek egymástól függetlenül mozoghatnak, és függőleges teherátadás a hézagoknál nincsen. A következő 7-6. ábrán csak a szélterhelésből adódó hajlítási húzófeszültségeket látjuk, de különböző nagyságú C ágyazási tényezők, tehát különböző teherbíró-képességű és minőségű ágyazatok esetén. Azt látjuk a gyakorlatilag fontos lemezvastagságok esetén, hogy a C tényező értékétől (kb. $C > 5$ esetén) már csak kevéssé függ a betonlemezben a húzófeszültség. Az ábrára tekintve azt látjuk, hogy a szélterhelések okozta húzófeszültségek a beton húzószilárdságának majdnem felét igénybe veszik.

b) *A táblák egyenlőtlen felmelegedését és lehűlését* a nap besugárzása, ill. a légmozgás befolyásolja legjobban. A 7-7. ábrán *Eberle* mérései alapján a betonlemez különböző mély-

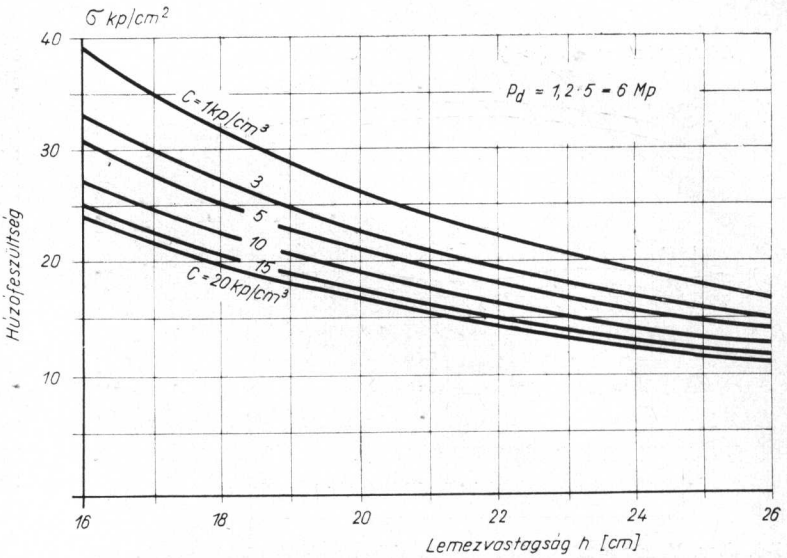


7-4. *ábra.* Betonburkolat legfontosabb terhelési esetei. Mértékadó a szélterhelés a kereszthézagnál

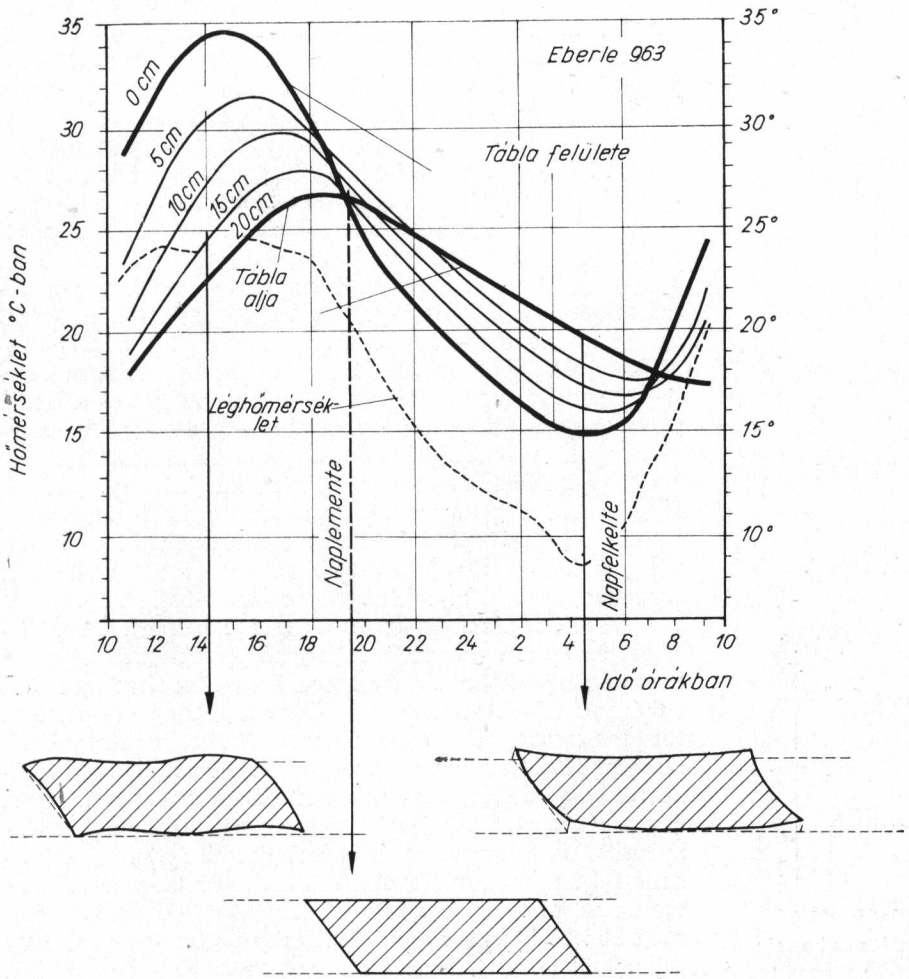


7-5. *ábra.* Különböző teherállomásokban érvényes húzófeszültségek nagyságai a betonlemez vastagságának függvényében (P=5 Mp, C= =10 kp/cm³

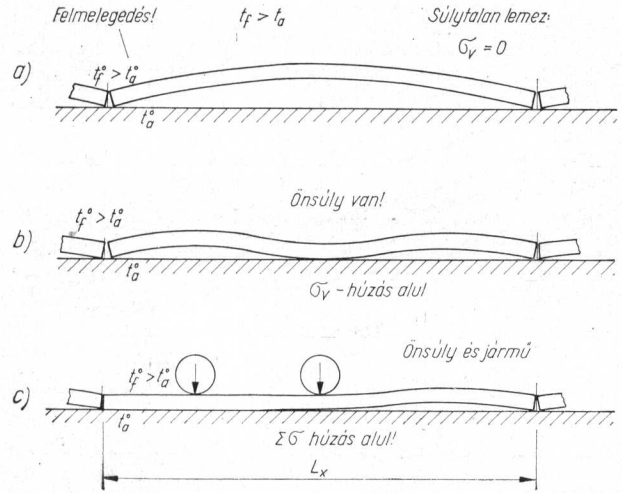
ségeiben láthatjuk a hőmérséklet alakulását. A tábla felülete hamar követi a léghőmérséklet változását, ezzel szemben az alsóbb rétegek, leginkább a betonlemez alsó felülete csak erős időbeli késéssel melegszik fel vagy hűl le. Ebből az adódik, hogy a betontábla felső és alsó szélén fellépő ($t_f - t_a$) °C hőmérsékletkülönbség nappal, kora délután, valamint kora hajnalban a legnagyobb. Ez az egyenlőtlen felmelegedés vagy lehűlés a betonlemezekben alakváltozásokat (vetemedéseket) és vetemedési hajlító—húzó-feszültségeket okoz. Ezek létrejötte nappal a 7-8. ábrából jól látható. Ha a lemez súlytalan lenne, akkor a felső napsugárzás hatására domború alakot venne fel, mivel a felső lemezrész megnyúlna, a közép és alsó rész pedig kevésbé; vetemedési feszültségek az alakváltozás szabad létrejötte miatt azonban még nem keletkeznének. A való-



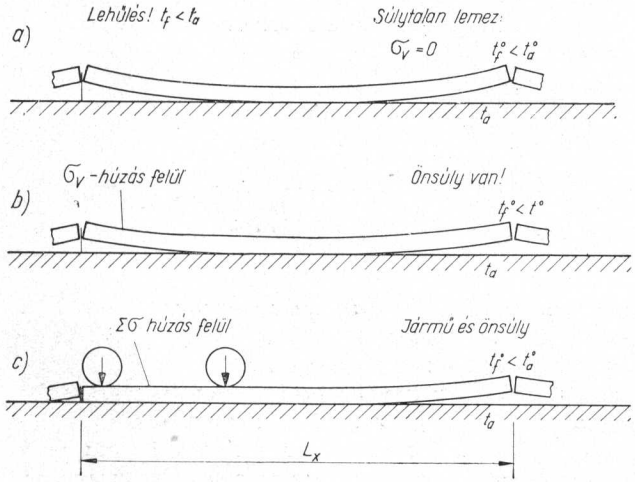
7-6. *ábra.* Terhelésből adódó hajlítási húzófeszültségek a betonlemez szélén. Az ágyazat teherbíró-képessége $C=10$ kp/cm³ ágyazási tényező felett már csak igen kevéssé befolyásolja a feszültségek nagyságát



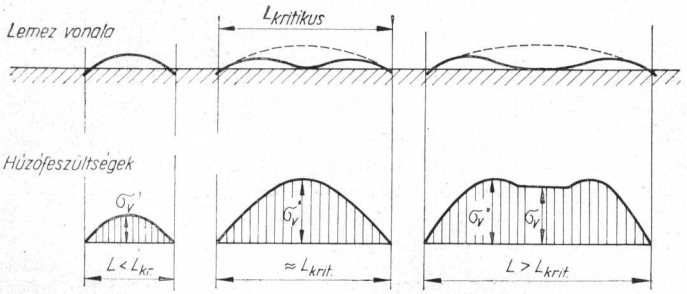
7-7. *ábra.* A hőmérséklet változása egy 20 cm vastag betonlemez különböző mélységű pontjaiban két tavaszi napon, s az egyenlőtlen hőmérsékletmegoszlásból eredő táblavetemedések



7-8. ábra. Vetemedési feszültségek és alakváltozások kialakulása betontáblákon nappali egyenlőtlen felmelegedés hatására



7-9. ábra. Vetemedési feszültségek és alakváltozások kialakulása betontáblákon éjszakai egyenlőtlen lehűlés hatására



7-10. ábra. A vetemedési feszültségek csökkenthetők, ha a lemez hosszát egy kritikus értéknél rövidebbre választjuk

ságban azonban hat a betonlemez önsúlya, ez a domború alakot nem engedi kialakulni. Egy jellemző határértéknél hosszabb lemeznél a lemez közepe visszahajlik az önsúly hatására, és emiatt keletkezik a vetemedési hajlító—húzófeszültség a lemez alján. Ez a húzófeszültség a járműterhelésből adódó hajlítási húzófeszültségekkel a lemez közepén és szélein összegeződik.

A 7-9. ábrán látható a betontábla éjszakai alakváltozása, amikor a lehűlés miatt felül kisebb, alul nagyobb a lemez hőmérséklete. Ekkor a lemez sarkai emelkednének fel; ezen alakváltozásnak ismét az önsúly áll ellen. Ilyenkor a vetemedési hajlító—húzó-feszültség a járművek sarok feletti terheléséből adódó, szintén felül jelentkező hajlítási húzófeszültséggel adódik össze. Ez az utóbbi, éjszakai lehűlésből származó vetemedési feszültség és alakváltozás azonban jóval kisebb nagyságú és jelentőségű, mivel az éjszakai hőmérséklet-egyenlőtlenség a lemez alsó és felső része között jóval kisebb, mint a nappali nyári tűző napsütés esetén.

A vetemedési feszültségek számítását már régóta megoldották, nagy szerkezeti jelentőségükre azonban főleg az utóbbi időkben hívták fel a figyelmet, elsősorban *Eisenmann* [28]. A nappali vetemedési húzófeszültségek nagysága a sztatikus járműterhelésből adódó húzófeszültség értékét meghaladhatja. Különös vonása, hogy kb. 25 cm lemezhatárig a h cm lemezvastagsággal együtt lineárisan növekszik a vetemedési feszültség is, ennek következtében, hogy a $(t_f - t_a) = \Delta\tau h$ hőmérséklet-különbség a lemez felett és alatt annál nagyobb, minél nagyobb a lemez vastagsága. (Itt $\Delta\tau$ °C/cm a hőmérsékleti gradiens, az 1 cm táblavastagságra eső hőmérséklet-változás nagysága, max. értéke: 0,7 (°C/cm körül van.) Ez a jelentős — 20...25 kp/cm² nagyságú — húzófeszültség azonban a 7-10. ábra szerint csak akkor tud valóban kialakulni, ha a lemez hossza egy kritikus nagyságot elér. Ennél a határhossznál rövidebb lemezeknél — tehát sűrűbb hézagtávolságoknál — ezeknek a teljes vetemedési feszültségeknek csak egy csökkentett része tud kialakulni. Ezért van jelentősége annak, hogy már régóta hosszhézagot alkalmaznak a burkolat középvonalában, és a kereszthézagokat zsugorodási vagy vakhézag formájában újabban a régi osztásnál jóval sűrűbben, pl. 5,00 m-enként vágják vagy vibrálják be.

c) *A táblák közel egyenletesnek vett felmelegedése vagy lehűlése* az építési (megszilárdulási) hőmérséklethez képest a betontáblák dilatációját, egyszerű hosszváltozását igyekszik előidézni. Régebben ennek a ténynek túlzott jelentőséget tulajdonítottak, és a terjeszkedési (dilatációs) hézagok viszonylag sűrű alkalmazásával és sima alsó lemezfelülettel igyekeztek a dilatációs mozgásokat akadálytalanná tenni. A ma korszerűnek tartott felfogás fordítva látja a problémát: előnyösebb, ha messzemenően elkerüljük, elhagyjuk a terjeszkedési hézagokat, mert akkor a hőmérséklet-emelkedések esetén az elmaradt dilatáció hőmérsékleti *nyomófeszültséget* okoz 30...80 kp/cm² nagyságban. Ezt a beton nemcsak, hogy baj nélkül felveszi, hanem az így kapott *nyomófeszültségek*

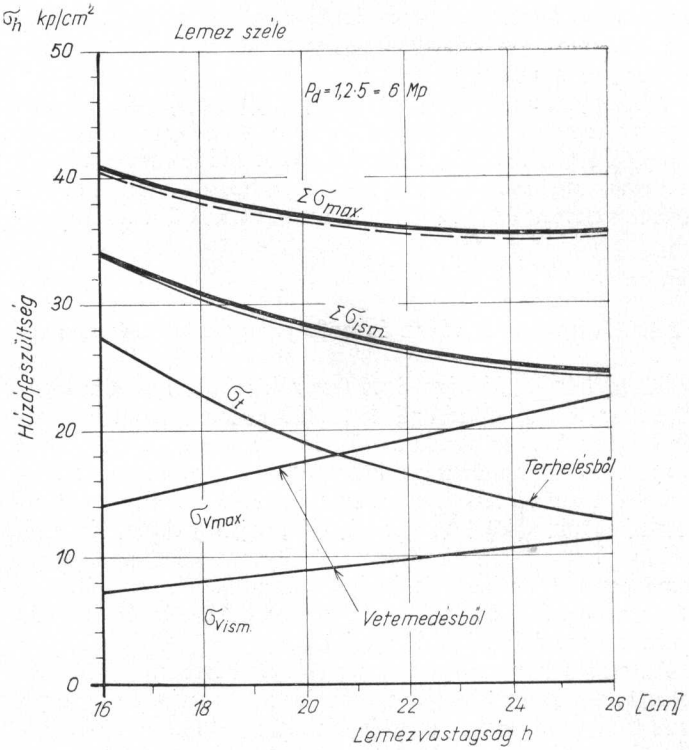
még *előnyösek* is, mert jelentős mértékben kompenzálhatják a járműterhelésből és a vetemedésből előálló halmozott *húzófeszültségek* értékeit. Kétségtelen, hogy a nyomófeszültségekből a lemezkeresztmetszetben nyomóerő alakul ki, amely elvileg kihajlásra, kivetődésre veszi igénybe a betonburkolatot, azonban mind az ellenőrző számítások, mind a ma már évtizedes hazai és külföldi gyakorlat is azt mutatja, hogy a kb. 16 cm-nél vastagabb és különben helyes technológiával készült terjeszkedési hézag nélküli betonburkolatok nem mutatnak kihajlási jelenségeket.

A téli lehűlés ugyancsak dilatációs húzófeszültségeket ébreszt, amelyeknek névleges értéke 80...140 kp/cm² között lenne az építési hőmérséklettől függően, ha a lemez nem tudna összehúzódni. Mivel ezt a húzófeszültséget a beton nyilván nem tudja felvenni, már jóval a fenti névleges maximális értékek létrejötte előtt átreped. A repedés a keresztmetszet tervszerűen meggyöngített részén következik be, a zsugorodási vagy vakhézagoknál. Itt is előnyös, ha ezek viszonylag sűrűn, pl. 5 m-enként ismétlődnek. Ha nem is mindegyik zsugorodási hézag reped át, a lemezek hossza mégis korlátozott marad, és ez a hézagok téli felnyílását minimális nagyságúra korlátozza. Ezzel a lemezek teherátadódása a hézagoknál megmarad. A zsugorodási hézagok szigetelésének, pl. bitumenes kiöntésének hatásossága szintén nagyobb lesz.

7.2.2. Az igénybevételek halmozódása, a hézagok jelentősége

Hogy a háromféle feszültség hogyan halmozódik, s az eredményül adódó mértékadó eredő húzófeszültségnek milyen maximális és átlagos értéke van, az nagymértékben a merev pályaszerkezet kialakításától függ. A húzófeszültségek halmozódását a mértékadó lemezszéli terhelés esetén 5 Mp kereknyomás, jó minőségű ágyazat ($C = 8...10$ kp/cm²) esetén a h betonlemez-vastagságtól függően a 7-11. ábrán látjuk. Mivel a h lemezvastagság növekedésével a járműterhelésből adódó húzófeszültség csökken, ezzel szemben a vetemedésből eredő viszont ugyanakkor növekedik, az eredő maximális húzófeszültségek vonala egy majdnem vízszintes tendenciájú görbe vonal. A *maximális* összhúzófeszültségek nagyságát a lemezvastagság növelése tehát alig befolyásolja.

Ugyanakkor azonban helyes figyelembe venni a fellépő feszültségek *gyakoriságát* is, mivel ez a beton kifáradására és az élettartamra jelentős befolyással van. Kétségtelen, hogy a legnagyobb gyakoriságú a járműterhelésből adódó feszültség. A $\sigma_{v\,max}$ maximális vetemedési feszültség, amelyet a $\Delta\tau' = 0{,}7...0{,}9$ °C/cm hőmérsékleti gradiens jellemez, évenként csak igen ritkán, 5...10 napig a kora délutáni időszakban lép fel. Az átlagosnak vehető, tehát közel fél évig tartó hőmérsékleti gradiens 0,3...0,4 °C/cm körül van (7-11. ábra), ennek megfelelően a sokszor ismétlődő vetemedési feszültséget ($\sigma_{v\,ism}$) durván a maximális érték felére becsüljük. Ha



7-11. ábra. A terhelésből és a vetemedésből származó húzófeszültségek halmozódása (max.: ritka szélső érték, ism.: nagy gyakoriságú átlagérték). A lemez vastagságának hatása eléggé korlátozott

ezt szuperponáljuk a járműterhelésből adódó húzófeszültségekre, akkor a lemezvastagság növekedése már inkább csökkenti az összhúzófeszültség értékét.

A kialakuló eredő feszültségekre és főleg azok gyakoriságára azonban az előző pontban említett harmadik feszültségfajtának, az esetlegesen fellépő dilatációgátlásból eredő húzó- vagy nyomófeszültségeknek is hatása van, ennek számszerű figyelembevétele azonban igen bizonytalan. Mindenesetre elmondható, hogy ha a betonlemez viszonylag sok dilatációs, terjeszkedési hézaggal épült, akkor a lehetséges terjeszkedések miatt a nyomófeszültségek alig alakulnak ki, és a húzófeszültségeket nem csökkentik. Ha viszont a terjeszkedési hézagokat messzemenően elhagyták, azokat ritkán alkalmazzák (pl. csak hídszerkezetek és műtárgyak mellett), akkor a dilatációs nyomófeszültségek kialakulhatnak, ha nem is mindenkor és minden betontáblán, de mégis azok jelentős részén, jelentős ideig ellensúlyozzák, csökkentik vagy megszüntetik a húzófeszültségeket. A terjeszkedési hézagok elhagyása a zsugorodási, vakhézagok egyidejű sűrítése mellett igen előnyös, mert éppen a fáradás és élettartam szempontjából teremt kedvezőbb helyzetet a húzófeszültségek ismétlődési számának és helyének csökkentésével. Ugyanakkor a maxi-

mális eredő húzófeszültségek fellépését (különösen a ritkábban, pl. műtárgyaknál alkalmazott terjeszkedési hézag környékén) nem szüntetik meg minden esetben.

Megjegyezzük, hogy a téli időszak, ill. az éjszakai lehűlés és ezzel együtt a sarokterhelés nem veszélyesebb eset az eddig tárgyaltaknál. Ezt a számításokból adódó meggondolást az a gyakorlati tapasztalat is bizonyítja, hogy a hazai felmérés szerint a betontáblák repedéseinek csak kb. 3%-a sarokrepedés.

7.2.3. A beton fáradása és befolyása az élettartamra

A beton húzószilárdsága 8...10-szer kisebb, mint a nyomószilárdság. Pl. jó minőségű 400...450 kp/cm² nyomószilárdságú beton húzószilárdsága 45...50 kp/cm² a 28...48 napos korban. A betonburkolat betonjánál a nyomószilárdságot csak azért ellenőrizzük, mert ezen keresztül könnyen következtethetünk a körülményesebben megállapítható, de *elsősorban fontos húzószilárdság*ra. A beton adalékanyagának, cementszükségletének és bedolgozásmódjának megválasztásakor a $\delta_h = 50...55$ kp/cm² 28 napos húzószilárdságot adó nyomószilárdságból kell kiindulni.

Az első 4 hét után a betonszilárdság részben tovább növekszik, a sokszor ismétlődő terhelés miatt azonban egyúttal fárad is a beton anyaga, és ezért a megengedhető húzószilárdság viszonylag alacsonyabb lehet csak. Német adatok (Eberle, 1963 [25, 26]) szerint a 28 napos betonszilárdság évek múlva 1,5-szörösre növekszik, majd fáradás miatt a megnövelt érték 0,6-szeresére csökken. A német útbeton 28 napos húzószilárdsága $\delta_{28\,h} = 55$ kp/cm² körüli, az évek múlva $1{,}5 \cdot 55 = 83$ kp/cm²-re emelkedik, és később fáradási jelenségek miatt $0{,}6 \cdot 83 = 50$ kp/cm²-re csökken. Az ismétlődő maximális összfeszültségek tehát mindenképpen ez alatt maradjanak. Ezek az adatok azonban csak tájékoztatóak.

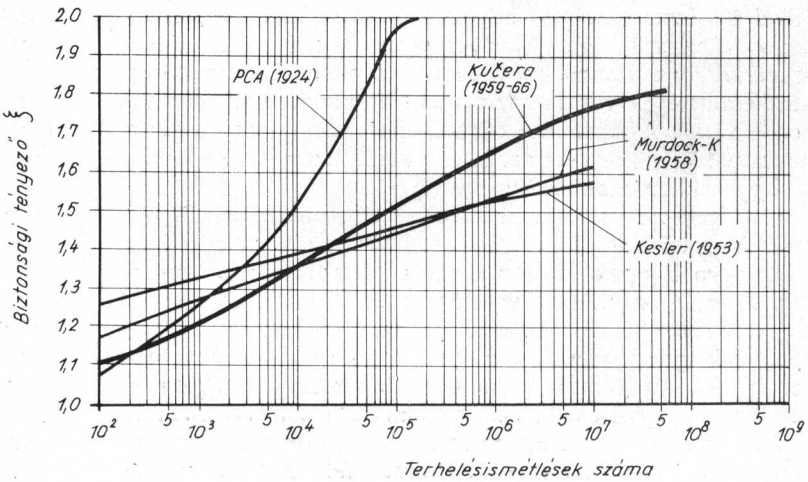
Régebben elterjedt felfogás volt, hogy csak a terhelés alatti feszültségeket vették tekintetbe, és a megengedhető húzóigénybevétel a beton húzószilárdságának fele volt, azaz $\zeta = 2$ nagyságú biztonsági tényezőt követeltek meg. Ez a felfogás egy a Portland Cement Association (PCA) ma is sokat idézett, évtizedekkel ezelőtti betonfárasztási kísérletein alapult. Az újabb korszerű betonfárasztási kísérletek a gerenda hajlítószilárdságára lényegesen kedvezőbb eredményeket mutattak (7-12. ábra). Ezért pl. az OSZZSD betonburkolatméretezési irányelvtervezet a csehszlovák *Kučera*-féle fárasztási mérések alapján áll, és a 7-12. ábra szerint *annál nagyobb ζ biztonsági tényezőt kell alkalmazni, minél nagyobb a teherismétlődések száma, azaz minél nagyobb a forgalom, ill. minél nagyobb a kívánt burkolatélettartam.* (A nagyobb ágyazási tényező, a teherbíró-képesebb ágyazat emellett a lehajlások csökkentése miatt kissé kisebb biztonsági tényező alkalmazását is lehetővé teszi.)

A *terhelésismétlődés* itt is a 10 Mp egységtengely-nyomásra átszámított forgalom alapján számítható az előírt (betonburkolat esetén 30 év körüli) élettartam alatt. A sokféle tengelynyomású jármű átszámítása 10 Mp-os tengelyek áthaladási számára ugyanúgy végezhető, mint a hajlékony pályaszerkezetek esetén. Az alkalmazandó tengelynyomás-egyenértékszámok itt is az *AASHO*-útkísérletekből vannak levezetve. Tekintetbe veszik az áthaladó járműmenetek megoszlását a keresztmetszeten belül. (Az összes meneteknek pl. 15%-a jár a lemezszélen és sarkon, kb. 80%-a lemezközépen, kereszthézagoknál.) A vizsgálat eredménye szerint betonburkolaton a forgalom megoszlása és nagysága viszonylag kevéssé befolyásolja a megengedhető biztonsági tényezőt, azaz a megengedhető húzófeszültség nagyságát.

Jó közelítéssel számítva [7] ezen az alapon:

nehéz forgalmú úton, autópályán: $\zeta = 1{,}7$;
igen nehéz forgalmú autópályán: $\zeta = 1{,}8$

mértékadó biztonsági tényezőt lehet alapul venni a betonfáradást figyelembe véve. A $\sigma_{28\,h} = 50$ kp/cm² húzószilárdság esetén ez $\sigma_e = 50/1{,}7$, ill. $50/1{,}8$, azaz 28...29 kp/cm² megengedett húzófeszültséget jelent. A nagy gyakorisággal ismétlődő feszültségeknek ezen határ alatt kell maradniuk. Ezen



7-12. *ábra.* A fáradás ellen szükséges biztonsági tényező nagysága betonnál a terhelésismétlések számának függvényében.

felül csak ritka esetben mehet fel a halmozott összhúzófeszültség. Így lehet indokolni az autópályákon Európa és az USA nagy részén, így nálunk is már elterjedt *22—24 cm lemezvastagságot*, amelyben a 7-11. ábra tanulsága szerint nagy gyakorisággal ismétlődő halmozott húzófeszültségek éppen $\Sigma\sigma_{ism} = 28$ kp/cm² körüli értékűek.

A betonburkolat lemezvastagságát technológiai okokból (formasín stb.) nehézkes és gazdaságtalan változtatni. Az összfeszültségeket az 5 Mp keréksúlyt alapul véve a betonlemez vastagságának változtatása csak kevéssé befolyásolja. Ugyancsak elég kevés hatása van a húzófeszültségekre az ágyazat teherbíró-képességének, a C kp/cm³ ágyazási tényező nagyságának (feltétlenül megkövetelve azonban a teherbíró-képesség *egyenletességét*).

Ezzel szemben viszont rendkívül jelentős tényező a fáradás és az élettartam szempontjából a betonlemez *húzószilárdságának nagysága*. Ha a beton húzószilárdsága pl. egy előírt 50 kp/cm² helyett csak 44 kp/cm² érték, akkor a nagy gyakoriságú összfeszültségek megengedhető nagysága 50/1,7≈ ≈29 kp/cm²-ről 44/1,7 = 26 kp/cm²-re csökken, s ez a $\Delta\sigma = 3$ kp/cm² megengedett szilárdságcsökkenés a 7-11. ábra a $\Sigma\sigma_{ism}$ görbe szerint legalább 4 cm lemezvastagság-csökkenéssel egyenértékű a fáradás és élettartam szempontjából.

Ezért lehet indokoltnak és fontosnak tartani minden olyan törekvést, amely az *útbeton húzószilárdságának fokozását* célozza: ennek megoldása érdekében jelentős építési költségnövekedéssel járó anyagbeszerzési és betontechnológiai intézkedések is feltétlen gazdaságosak lehetnek a betonburkolat használhatósága és élettartama szempontjából. Ugyanígy viszont az útbeton alacsony húzószilárdságának megtűrése a burkolat élettartamát igen jelentősen rövidítheti.

Az előzőekben vázolt teljes gondolatmenet a *betonlemez repedését* kívánta megelőzni. Természetes, hogy a betonburkolaton viszonylag kisszámú repedés nem okoz hátrányt a forgalomban, csak fenntartási munkatöbbletet kíván a kiöntőanyaggal való kezelés. Ennek ellenére az előző teljes gondolatmenet helyes, mert ha a betonburkolat vastagsága vagy szilárdsága, vagy alátámasztása nem kielégítő, akkor egy bizonyos fáradási időszak után a *repedések tömegesen jelennek meg* úgy, hogy a burkolat felületi minősége, használhatósági indexszáma megengedhetetlenül lecsökken egy viszonylag rövid idő (1...2 év) alatt. Ez mutatja, hogy a betonlemez elérte *élettartamának végét*.

7.2.4. A betonburkolat viselkedésének fő tapasztalatai az AASHO-Road-Test során

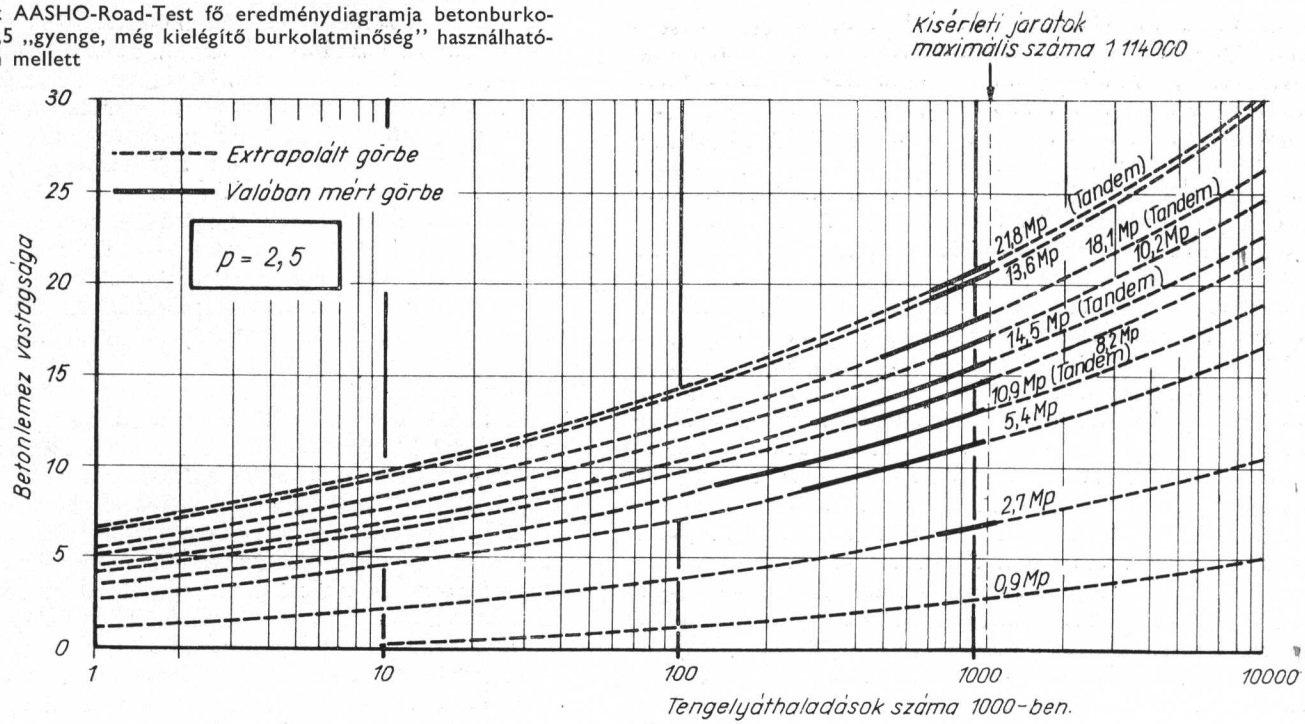
Az 1958...60. évi AASHO-útkísérletek a merev pályaszerkezetekre is kiterjedtek. A kísérlet előkészítése, lefolytatása és kiértékelése lényegében a hajlékony pályaszerkezetek között már a 49. oldalon ismertetett és itt is ismertnek vett módszerek szerint ment végbe. A kísérletek két fő kiértékelő diagramját a 7-13. és 7-14. ábrákon közöljük, a $p = 2{,}5$, ill. $p = 1{,}5$ használhatósági indexszámra vonatkozóan. Mivel a betonburkolatokat általában bőségesen méretezték, számos kísérleti szakasz kiértékelhetetlen maradt, mert a kísérleti forgalom, a kb. 1 100 000 járat bevégzése után sem csökkent a $p = 2{,}5$, ill. 1,5 érték alá. Ezért az eredménydiagramban levő görbék valóban mért szakasza viszonylag rövid, túlnyomórészt extrapoláció, és így az egész diagram kevésbé megbízható, mint a hajlékony pályaszerkezetek esetében. A 7-13... 7-14. ábrákban a tengelyáthaladási számok függvényében itt a betonlemez valóságos vastagságát tüntették fel. Belőlük a különböző járműtengelysúlyok egységtengelynyomásra való átszámítására egyes tengelyekre ugyanazok a szorzószámok adódnak, mint a hajlékony pályaszerkezetek esetében, csak kettős tengelyeknél nagyobbak kevéssel az átszámítási szorzók (2-22. ábra, 55. oldal). Így tehát betonburkolatokra is változatlanul érvényes az a felismerés, hogy *a különböző súlyú tengelysúlyok élettartam-csökkentő, burkolatrongáló hatása a tengelysúlyok negyedik hatványával arányos*, azaz kétszer akkora tengelysúly tizenhatszor akkora élettartam-csökkentő hatást okoz. Így tehát a nehéz tengelysúlyok rongáló hatása a betonburkolatokon is teljes mértékben fellép.

Igen érdekesek és fontosak azok a szerkezeti tapasztalatok, amelyeket a kísérleti forgalom során szereztek, azonban ezek értékelésekor figyelembe kell venni egy sor különbséget, ami az amerikai és európai útépítési módszerek között adódik.

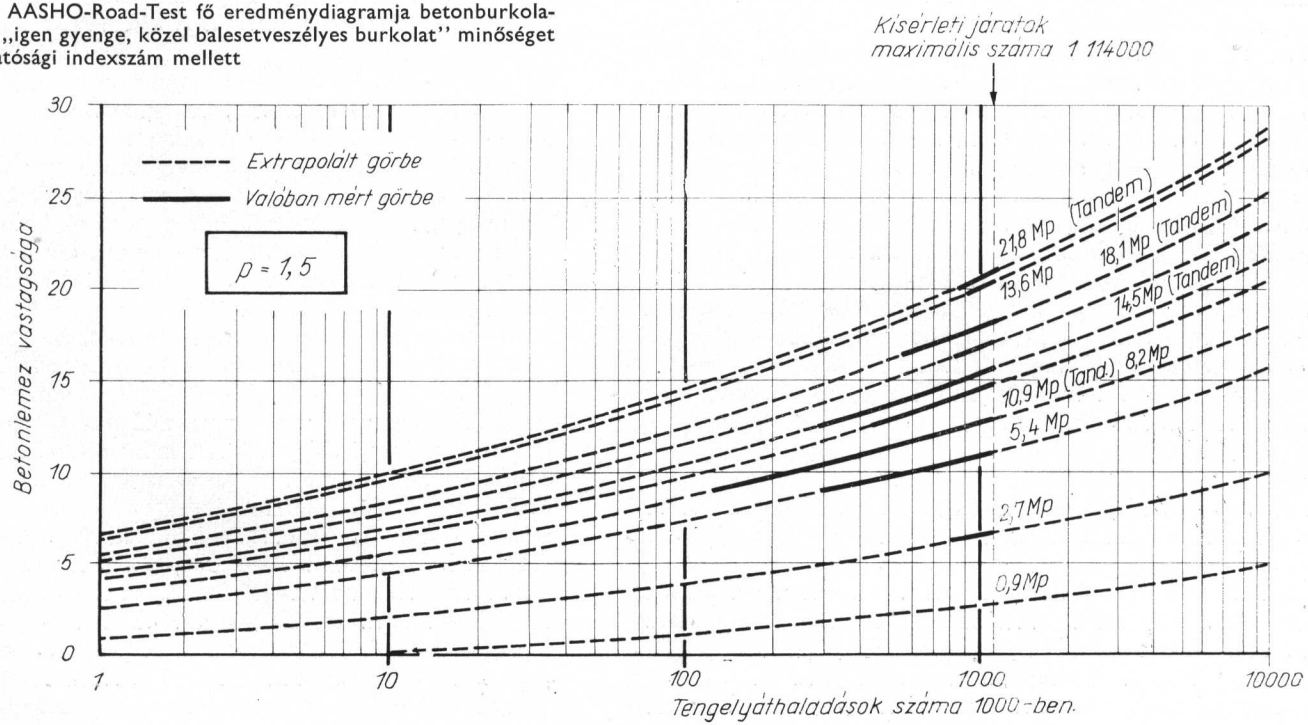
A *betonlemez* vastagságát 10 cm alatti vastagságtól 30 cm feletti vastagságig változtatták. A kísérleti szakaszok azonos vastag részeinek fele 12 m távolságokban adódó zsugorodási hézagként kialakított kereszthézagokkal és ugyanakkor repedésgátló *felületi vasalással*, acélhálóval, a másik fele pedig *acélháló-vasalás nélkül*, de a zsugorodási hézagok 4,6 m távolságokra való sűrítésével épült. A betonlemez anyaga gyengébb minőségű, mint az európai szabványelőírások. Az adalékanyag a végig egyrétegű, ill. egyanyagú betonhoz kvarchomok és dolomitos mészkőkavics volt, tehát tört anyagot (zúzalékot) nem alkalmaztak (az európai előírásokkal ellentétben). Maga az AASHO jelentés megjegyzi, hogy a mészkőkavics beton felületének túl kis érdessége, csúszóssága gondot okozott a kísérleti forgalomban is. A cementadagolás 330 kg/m³ „normál cement" volt, kb. 0,42 víz—cement-tényezővel, az adalékanyag max. szemnagysága 63 mm, a 7 mm-nél kisebb homokrész csak 34% körüli. A mért nyomószilárdságot 14 napos korban 360 kp/cm² és 90 napos korban 420 kp/cm² értéknek mérték. A húzószilárdságot nehéz az európai megállapítási móddal összehasonlítani, kb. 48 kp/cm² körüli értéket becsülhetünk. Az utólag kivágott próbahengereket nem törték el, hanem csak a fontosnak tartott légpórustartalmat vizsgálták (l. később); ez kb. 3,2 térf.%-ra adódott.

A betonlemezt a főkísérletben közvetlenül *homokos kavics fagyvédőréteg* támasztotta alá 0...7,6...15,2...22,9 cm vastagságokban. A földmű töltés anyaga itt is iszapos agyag $w_f = 29\%$,

7-13. *ábra.* Az AASHO-Road-Test fő eredménydiagramja betonburkolatokra a $p=2,5$ „gyenge, még kielégítő burkolatminőség" használhatósági indexszám mellett



7-14. *ábra.* Az AASHO-Road-Test fő eredménydiagramja betonburkolatokra a $p=1,5$ „igen gyenge, közel balesetveszélyes burkolat" minőséget jelző használhatósági indexszám mellett



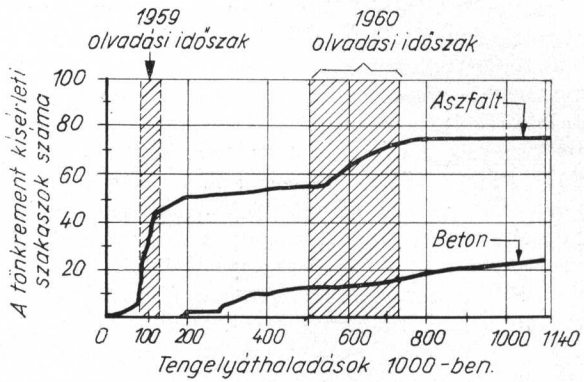
$I_p = 14\%$ jellemzőkkel. A teherbíró-képesség igen alacsony volt, $CBR = 1{,}7\%$. A betonlemez alatt tehát nem volt kötött alap, csak a későbbi kiegészítő kísérletek (Satellite-Tests) folyamán volt igen korlátozott alkalom cementstabilizációs, bitumenes kavicsos kötött alap kisebb arányú vizsgálatára.

A kétéves főkísérlet európai értékelését megnehezíti, hogy a homokos kavics alap víztelenítése elég hiányos volt, és a nem kötött alapot, a betonlemez alatti homokos kavicsot a forgalom ún. „pumping" hatása a hézagokon keresztül a vízzel együtt a felszínre szivattyúzta olyan mértékben, hogy a betonburkolatok az esetek túlnyomó részében a kiszivattyúzott ágyazat miatti egyenlőtlen alátámasztás miatt mentek tönkre, és más tönkremeneteli okot alig tudtak tanulmányozni. Mivel az Európában és hazánkban is elterjedt kötött alapok esetén ilyen szivattyúzó hatás nem következhet be, ezért az AASHO-kísérletekből levont következtetésekben és számszerű adatokban egy jelentős, de nem számszerűsíthető biztonsági tartalékot kell tudomásul venni. Ezt figyelembe véve a nagyszabású kísérletből adódó további fő tapasztalatok a következőkben foglalhatók össze:

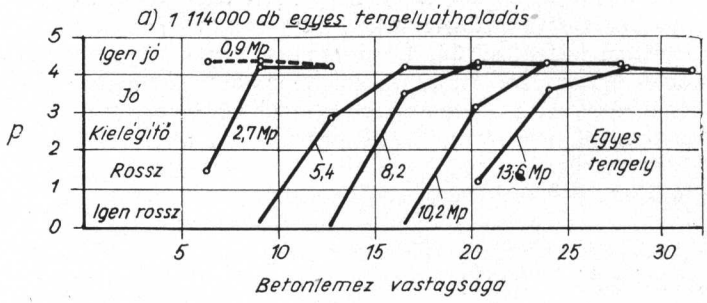
a) A betonburkolat jelentős és hatásos teherelosztó hatása miatt a tavaszi olvadási időszakban adódó altalaj-teherbírás-csökkenés alig vagy egyáltalán nem káros a merev pályaszerkezetre vagy betonburkolatra, ellentétben az olvadási időszakban sokat romló hajlékony pályaszerkezetekkel. A 7-15. ábrán pl. a két kísérleti év olvadási időszakában az tapasztalható, hogy a tönkrement kísérleti pályaszakaszok száma jelentősen és kiugróan emelkedik a hajlékony pályaszerkezetek esetén, amíg betonburkolatokon ez a hatás nem jelentkezik. Ez a betonburkolatok jelentős előnye.

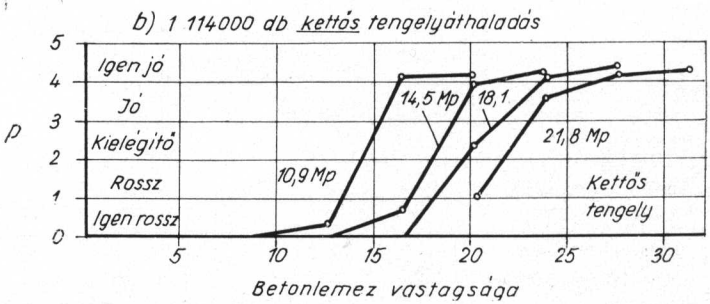
b) A betonlemez alatti homokos kavicsréteg léte vagy nemléte igen fontos, mert a közvetlen iszapos agyagra helyezett betonburkolatok élettartama, áthaladási tengelyszáma 32%-kal, durván egyharmaddal kisebbre adott, mint a homokos kavics alappal épült betonburkolat esetén. Ugyanakkor viszont az élettartamot már tovább semmiben sem befolyásolta, hogy a homokos kavicsréteg vastagságát 8 cm, 15 cm vagy 23 cm-rel építették meg, annak ellenére, hogy a téli fagybehatolási mélység 91 cm volt. Ez a közömbösség az alsó teherhordó rétegek vastagságával szemben a hajlékony burkolatokat egyáltalán nem jellemezte.

c) A betonlemezek teherbíró-képessége, élettartama a lemezvastagsággal erősen növekszik, közel arányos a lemezvastagság négyzetével. A 7-16. ábrán szemléltetjük, hogy a különböző súlyú egyes és kettős terhelő tengelyek a két évi forgalom alatt (1,1 millió áthaladás után) a különböző vastag betonlemezek jellemző p használhatósági értékszámában milyen nagy csökkenést idéztek elő. Itt azonban a már említett biztonsági tartalékot európai viszonyok között figyelembe kell venni: ha kötött alap van, amely a pumping hatást megakadályozza, akkor a burkolat állapota jóval kevésbé romlik; így pl. az AASHO-kísérlet óta számos nyugatnémet autópályaszakaszon, amelyen 22 cm vastag betonlemez van,



7-15. *ábra.* A tönkrement kísérleti szakaszok számának az időbeli eloszlása az AASHO-Road-Test alatt; a két olvadási időszakban a hajlékony pályaszerkezetek rohamosan romlottak, a betonburkolatok nem





7-16. *ábra.* Az AASHO-kísérlet végén, 1 114 000 tengelyáthaladás után a burkolat állapotot jellemző használhatósági index (p) alakulása a betonlemez-vastagságtól és a tengelysúlytól függően

kötött alappal, bitumenes kavicsréteggel, tehát a pumping hatás kikapcsolásával mérték a lefutott terhelést és a pálya állapotát. A többéves tapasztalat szerint a burkolatok állapota jónak volt minősíthető az AASHO-kísérlet forgalmánál messze nagyobb forgalmi terhelések esetén is, amikor az AASHO-diagram szerint a betonburkolatnak már tönkre kellett volna mennie.

d) Igen érdekes és feltűnő különbség adódott viszont a repedéscsökkentő célzatú felületi acélháló vasalással ellátott és a vasalás nélküli betonlemezek viselkedése között. Az élettartam nagyságát, a tönkremenetelig áthaladó tengelyszám nagyságát gyakorlatilag nem befolyásolta, hogy a betonlemez felületi vasalással el volt-e látva vagy sem. A vasalás a betonburkolatokon számos állam által alkalmazott táblarepedés elleni vasalás volt, a betonlemez felülről számított 5 cm mélységében elhelyezve, tehát tipikusan nem hajlítási húzásokat felvevő vasalásról van szó. Ez a tapasztalat az évtizedes hazai gyakorlatot messzemenően igazolta, mert a magyar betonburkolatokban — részben takarékossági, részben műszaki okokból — mindig feleslegesnek tartották a felületi hálós lemezvasalást.

e) Igen fontos tapasztalatok adódtak a hézagok elrendezésével kapcsolatban. Dilatációs, terjeszkedési hézagot egyáltalán nem alkalmaztak az amerikai régi gyakorlatnak megfelelően. A kísérleti szakaszok egyik (a vasalt) felénél 12 m távolságonként alkalmaztak zsugorodási hézagokat (a felső 6 cm bevágásával gyöngített keresztmetszet révén). A másik, vasalatlan felénél sűrűn, 4,6 m-enként vágták be a terjeszkedési hézagokat. Hosszhézagokat mindig alkalmaztak. A hőmérsékletek és a lemezszélek emelkedésének, mozgásának pontos mérésével megállapítható volt, hogy az egyenlőtlen lemezfelmelegedésből valóban keletkeznek jelentős vetemedési alakváltozások és feszültségek, elsősorban a hosszú, 12 m-es lemezek esetén. A hosszú lemezek erősen összerepedeztek, a rövid lemezeken ritka volt a repedés, de sokkal több a szabályos vágott hézag. A számszerű adatok a következők voltak:

	12 m-es táblák vasalva	4,6 m-es táblák vasalás nélkül
Az 58 kísérleti szakaszból a kísérlet végéig nem esett ki, jónak bizonyult	46	47
Szabálytalan repedések hossza a 46 vagy 47 jó szakaszon 300 m^2-re számítva	1970 m	196 m
Szabályosan vágott hézagok hossza a jó szakaszokon 300 m^2-re számítva	1130 m	3082 m
A szabálytalan repedések és a vágott hézagok együttes összhossza 300 m^2-re számítva	3103 m	3278 m
Átlagos hossz 300 m^2 területen (repedés+hézag)	68 m	70 m

Az igen érdekes eredmény szerint tehát a 12 m-es betontáblákkal épített burkolaton éppen olyan sok repedés keletkezett (a terhelés és a vetemedés együttes hatására), mint a 4,6 m-es rövid betontáblás burkolaton a sűrűbben vágott hézagok többlethossza. Mivel a szabálytalan, zegzugos repedések mind esztétikai—forgalomtechnikai szempontból, mind pedig a fenntartás szempontjából sokkal hátrányosabbak mint az egyenes vonalban vágott és kiöntött zsugorodási hézagok, ezért a rövid táblák alkalmazását az AASHO-kísérletek fényében is sokkal előnyösebbnek kell tartanunk, mint a hosszabb táblákat.

f) A terjeszkedési hézagok elhagyása dilatációs nyomófeszültségeket, nyomóerőket okozott a betonlemezekben nyáron. Ezek azonban csak kivételesen, három szélsőséges esetben okoztak csak kihajlást, felpattanást a nyomóerők alatt: az egyik esetben egy 6 cm vékony lemez szenvedett kihajlást, amely két 13 cm vékony lemezzel épült szakasz közé volt építve, másik két esetben 13 cm vékony lemezek esetén a szóban forgó betontáblákat meleg időben úgy javították, repedés miatt, hogy a tábla felét, ill. háromnegyedét kivésték és meggyengítették. A gyakorlati méreteknél tehát valóban nem kell a 18, 20, 22 cm-es betontáblák kihajlásától tartani.

7.3. A BETONBURKOLATOK ANYAGA ÉS ÖSSZETÉTELE

A beton az építőmérnöki szakterület általánosan ismert alapvető építőanyaga. A következőkben ezért éppen arra szorítkozunk, hogy a vasbeton szerkezetekhez alkalmazott betontól, azok anyagaitól és összetételétől eltérően a betonburkolat betonja ezektől miben különbözik, milyen különös követelményeket kell kielégítenie.

A fő különbség abban van, hogy a betonburkolat anyaga nem vasbeton, hanem általában vasalatlan beton, az adódó igen jelentős *húzófeszültségeket* az egész élettartam alatt a betonnak kell felvennie. Emellett a betonlemez *kopásállósága* is fontos, mert a burkolaton bonyolódik le közvetlenül a forgalom. Ugyanezen okból a betonfelület kellően *durva, érdes* legyen a jó csúszásellenállás létrehozása érdekében. A jó útbetonnal szemben emellett követelmény, hogy az építés alatt a kötés és megszilárdulás folyamata alatt a nagytömegű vasalatlan beton ne legyen hajlamos a *zsugorodási repedések* kialakulására még a hézagvágás bekövetkezése előtt. Végezetül a jó útbeton kellően *fagyálló*, sőt kielégítően elviseli a téli útfenntartás során a burkolatfelület sózásának hatását, tehát *korrózióálló* is egyúttal. Így tehát:

— a nagy húzószilárdság,
— a nagy kopásállóság,
— az érdes, nagy csúszásellenállású betonfelület,
— a kötési folyamatban a zsugorodási repedések elleni biztonság,
— a nagy fagyállóság és a felület sószórásos kezelésével szembeni kellő érzéketlenség,

ezek tehát azok a fő követelmények, amelyek az útburkolati betont a szokásos magas- vagy mélyépítési betontól megkülönböztetik. Ezért kell a cement, az adalékanyagok, az összetétel és a betonkeverés szempontjából is külön-külön megoldani ezen követelmények teljesülését.

7.3.1. A betonburkolatokhoz alkalmas cementek

7.3.1.1. Általános szilárdsági követelmények

Azokban az országokban, ahol a betonútépítés jelentős arányú és így a helyi cementiparnak jelentékeny piacot jelent, rendszerint nincs különös útépítési cement probléma, és vagy az általában alkalmazott normálcementek teljesen alkalmasak burkolatépítésre is, vagy pedig külön speciális útépítési cementet gyártanak és használnak fel, többnyire a cementgyárak minőségjavító, egyben további piacszerző vagy megtartó kezdeményezése nyomán. Azokban az országokban ellenben, ahol sohasem volt vagy hosszabb ideig szünetelt a jelentős betonútépítés és a cementiparnak az útépítés nem jelent jelentős és kívánatos piacot, ott már sokszor adódnak útépítési cementproblémák. Egyáltalán nem szükségszerű ugyanis, hogy a magasépítésre és a vasbeton építés számos más területén kiválóan alkalmas, és ezen igényeket jól kielégítő szabványoknak valóban megfelelő cementfajták ugyanakkor a betonburkolat-építés számára is kedvező minőségűek legyenek, és az előző pontban említett ötféle speciális követelményt is kielégítő betont igényeljenek. (Ez *fajta* és nem *minőség* kérdése: elképzelhető egy cement, amely pl. házgyári alkalmazásra kitűnő, betonburkolathoz pedig hátrányos, és fordítva.)

Röviden összefoglalva a betonburkolatokhoz kedvező fajtájú cement problémája az, hogy viszonylag *nagy húzószilárdságú, jó minőségű betont kell készíteni úgy, hogy az nagy tömegben, vasalás nélkül építve mégse legyen hajlamos a zsugorodási repedésekre*, főleg az első 24 órában. Természetes, hogy ezen követelmény kielégítése összetett betontechnológiai kérdés, a cementfajta azonban döntő jelentőségű.

Magyarországon betonburkolat építésére jelenleg *C-600 jelű portlandcementet* használnak. Ezen cementfajta MSZ 523 szabvány szerinti előírt szilárdsági értékei különböző tárolási időben a következők:

	Nyomószilárdság	*Húzószilárdság*
2 napos korban:	250 kp/cm²	25 kp/cm²
7 napos korban:	450 kp/cm²	32 kp/cm²
28 napos korban:	600 kp/cm²	35 kp/cm²

(A szabvány szerint földnedves cementhabarcs próbatestekből kell megállapítani a fenti értékeket, a nyomószilárdságot 7,07 cm-es kockák törésével, a húzószilárdságot 5 cm² keresztmetszetű piskóta alakú próbatestek tiszta húzásával.)

A 60-as évek során huzamos ideig előfordult, hogy a fenti C-600-as portlandcementtel készített betonburkolatok előírt nyomószilárdsága fölösen magas volt, ugyanakkor a húzószilárdság tartósan 45 kp/cm² érték alatt maradt, és ezen a beton-adalékanyag módosításával sem tudtak jelentősen változtatni. Egy idő múlva áttértek egy másik cementgyár által gyártott C-600 jelű portlandcement alkalmazására. Ezzel a cementtel az előírt 50 kp/cm² feletti beton húzószilárdságot már megbízható módon be tudták tartani, ugyanakkor azonban jelentősen fokozódott a munkahelyen a zsugorodási repedéseknek a száma a hézagvágás előtt. Természetes, hogy a kötés utáni zsugorodási repedéseknek számos oka lehet, ezek közül csak egyik lehetőség a cement fajtája. Mindenesetre hazai viszonyok között igen előnyös lenne egy külön a betonburkolatok igényeit szem előtt tartó „út-cement" gyártása és alkalmazása. Ilyen irányú előkészületek folynak.

Az „útépítési cement" semmiképpen sem azonos egy nagy szilárdságú, pl. C-700 típusú cementtel, amely a nyomószilárdság fokozásával egyúttal a húzószilárdságot is emeli, de igen gyors kötési körülményei viszont a zsugorodási veszélyt nagyban emeli. A nagy húzószilárdságot viszonylag mérsékelt nyomószilárdsággal és lassú kötéssel kell létrehozni.

Jó példák erre a francia és nyugatnémet szabványos cementek, amelyeknek szilárdsági adatait 3, 7, 28 napos korban

7-1. táblázat. Francia és német cementfajták előírt nyomó- és húzószilárdságai

	Minimális nyomó- és húzószilárdság kp/cm²					
	2 v. 3 nap		7 nap		28 nap	
	σ_N	σ_H	σ_N	σ_H	σ_N	σ_H
Francia cementek AFNOR P15-302, 1964 vizsgálatok: 2—7—28 nap						
CPA-250	—	—	160	35	250	50
burkolatnál: **CPA-325**	—	—	210	40	**325**	**55**
CPA-400	160	35	315	55	400	65
CPA-500	200	40	355	60	500	70
Német cement (NSZK) DIN 1164 vizsgálatok: nap 3—7—28						
burkolatnál: **Z-275**	—	—	110	30	**275**	**50**
Z-375	150	30	225	40	375	60
Z-475	300	50	360	60	475	70

a 7-1. táblázatban látjuk. Láthatóan nem a nagyobb, hanem a közepes szilárdságú *CPA-325* jelű (francia), ill. *Z-275* jelű (nyugatnémet) cementeket alkalmazzák a betonútépítéshez. Ezeknek 28 napos korban 325, ill. 275 kp/cm² a minimális nyomószilárdságuk, valamint 55, ill. 50 kp/cm² a minimális húzószilárdságuk. Mindkét országban a gyakorlatban gyártott cementek 15...30%-kal nagyobb nyomó- és húzószilárdságot mutatnak, mint a szabványban előírt előbbi minimális értékek. Látható, hogy ezeknél a cementeknél a közepes nyomószilárdsághoz viszonylag magas húzószilárdság párosul. (Még akkor is igaz ez, ha meggondoljuk, hogy a francia és német cementekből a habarcs-próbatestek nem földnedves, hanem plasztikus konzisztenciával készültek, és a húzószilárdságot nem piskóta alakú próbatest szakításával, hanem egy 4×4×16 cm-es hasáb 10 cm fesztávon erővel való terhelésével, mint hajlító—húzó-szilárdságot számítják.)

7.3.1.2. Speciális követelmények az útcementekkel szemben

Nyugat-Németországban 1956 és 65 óta egy *minisztériumi körrendeletben* [25] a *főutak és autópályák részére* még néhány külön minőségi jellemzőt megkövetelnek.

a) *Őrlési finomság ne legyen túl nagy.* A cementszabvány előírja, hogy a 0,09 mm-es szitán fennmaradt cementrész 20%-nál ne legyen ugyan több, a körrendelet viszont az útfelhasználás részére megköveteli, hogy a fennmaradt cementrész 5%-nál kevesebb se legyen portlandcement esetén és 2%-nál kohósalakcement esetén. Ezzel azt kívánják elérni, hogy csak jól égetett és csekély zsugorodási hajlamú cementtel készüljön a burkolat. A túl finom cement emellett a beton bedolgozhatóságát is nehezíti. Másfelől ugyanezen okokból az *őrlési finomságot* a cementszemcsék *fajlagos felületének* maximálásával is lehatárolják. A körrendelet szerint:

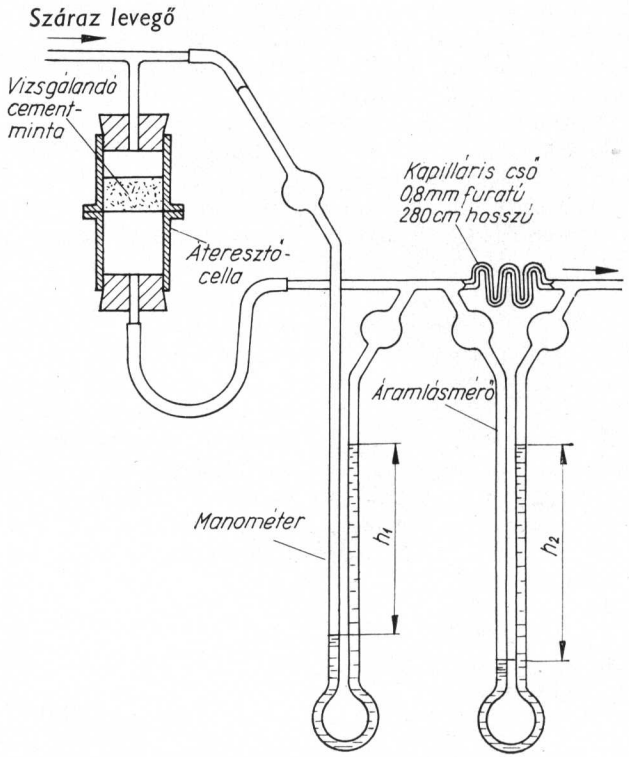
a fajlagos felület (Blaine-szám) *max. 4000* cm²/g értékű lehet legfeljebb.

b) *Lassú kötési idő szükséges*, különösen pedig a *kötés* a vízzel való keveréstől számítva legalább *2 óra után* kezdődjön 20 °C mellett. Nyáron 30 °C-nál magasabb hőmérséklet mellett is legalább 1 óra után szabad csak a kötésnek elkezdődnie. (A gyors kötés esetén részben a szállítás—bedolgozásra marad kevés idő, részben pedig a nagy kötéshő és zsugorodási hajlam a repedésveszélyt fokozza.) A kötési időt az ismert *Vicat-tűvel* ellenőrzik.

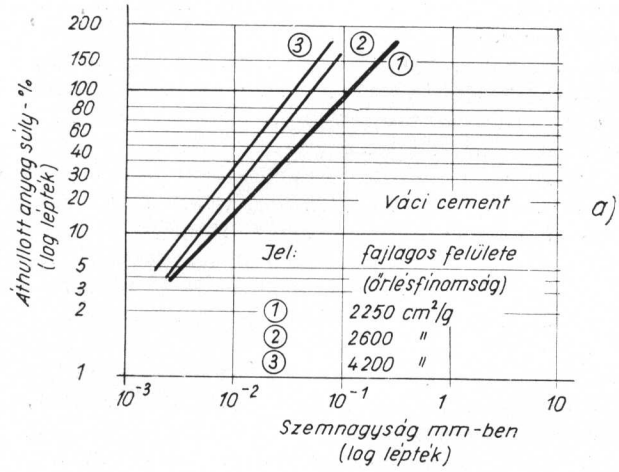
c) *A minimális hajlító—húzó-szilárdság 60 kp/cm²*, tehát nagyobb az *Z-275* előírt 50 kp/m² értékénél.

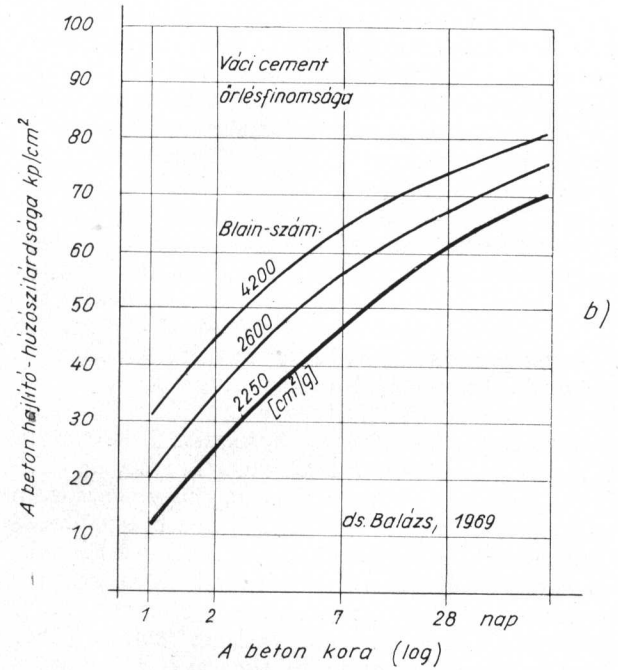
Ezeket a követelményeket legtöbbször a Z-275 portlandcementtel jól ki lehet elégíteni. Kohósalakcement esetén a Z-375 minőség szükséges, ezt azonban a nagyobb ár miatt ritkábban alkalmazzák. A nagyobb szilárdságú Z-375 vagy Z-475 cementeket csak kivételesen alkalmazzák olyan esetekben, ha gyors szilárdulás szükséges a munka gyors befejezése érdekében (pl. a téli fagy beállta előtt vagy sürgős forgalomba adás kötelezettsége miatt).

A cement és a belőle készített beton szilárdságát jelentősen befolyásolja, hogy a cement alapanyagként előállított klinkert milyen finomra őrli a cementgyár. Az őrlési finomságot vagy a cement szemeloszlásával, vagy pedig jellemzőbben a cement *fajlagos felületének* (cm²/g) nagyságával jellemezzük. A Blaine-féle számnak nevezett fajlagos felületérték egyszerű közelítő mérésére a 7-17*a* ábrában bemutatott *Lea—Carman*-féle készüléket használják. Ebben adott ideig ismert nyomású levegőt bocsátanak a cementmintán keresztül, és mérik a nyomásesés nagyságát. Az így végzett permeabilitásmérés alapján a fajlagos felület számítható. A cement kötése során lejátszódó kémiai reakciók annál eredményesebben, amellett gyorsabban folynak le, minél nagyobb a fajlagos felület, minél finomabbra őrlik a cementet. A finomabbra őrölt, nagyobb fajlagos felületű cementnek nagyobb a szilárdsága, jelentősen nagyobb a kezdőszilárdsága, viszont nagyobb a zsugorodási hajlama is, tárolhatósága pedig kedvezőtlenebb. Régebbi cementgyáraink általában 2000...2500 cm²/g finomságra őröltek, új korszerűbb cementműveink pedig 3000 cm²/g körüli fajlagos felületre őrölnek.



7-17a ábra. A cementek Blain-féle fajlagos felületének közelítő meghatározására való Lea—Carman-féle készülék



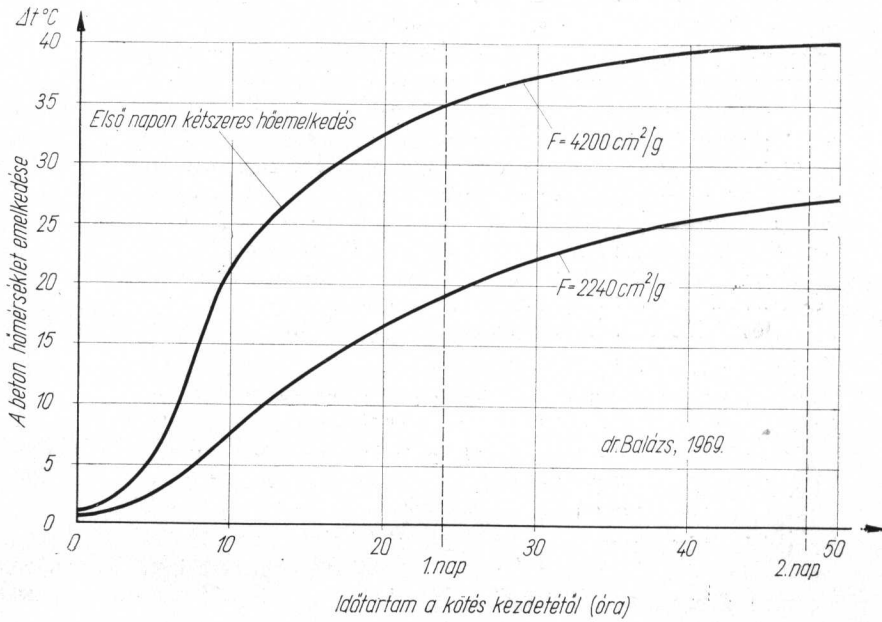


7-17b. Ha a cement őrlésfinomságát, fajlagos felületét emelik, akkor növekszik a vele készült beton húzószilárdsága is.

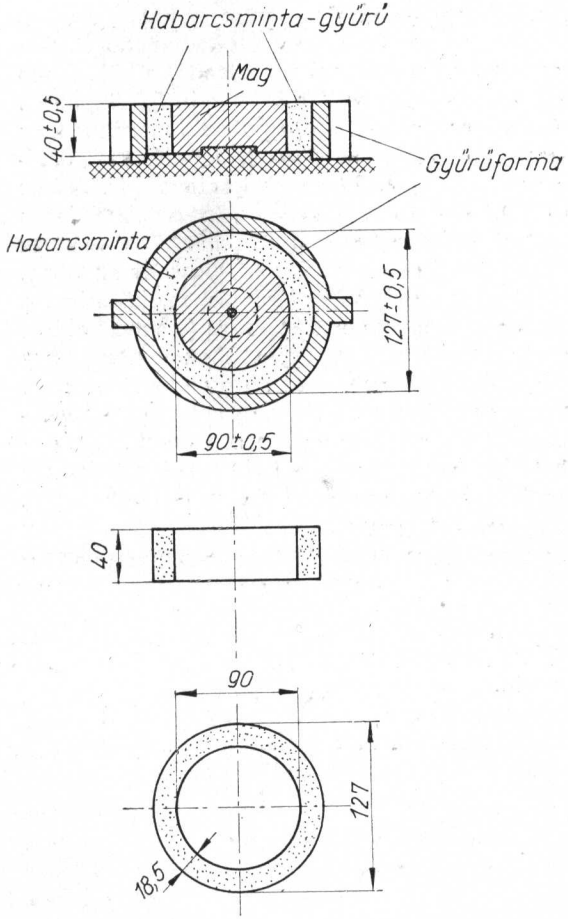
Jól látható a fajlagos felület, őrlésfinomság hatása a 7-17*b* ábrán. A váci cementgyár klinkerjeiből különböző finomságúra őrölt cementek szemeloszlásait, valamint a különböző fajlagos felületű cementekkel és 5 frakciós, kb. 5,0 finomsági modulusú, 20 mm legnagyobb szemnagyságú dunai homokos kavics adalékanyaggal készült betonok húzószilárdsági értékeit látjuk, a beton 1, 2, 7, 28 napos korában (*dr. Balázs György, 1969* [13]). A finomabbra őrölt, nagyobb fajlagos felületű cementtel készült beton húzószilárdsága már az első naptól kezdve jóval nagyobb. Ezzel együtt jár azonban, főleg a kezdeti sokkal gyorsabb szilárdulásban, kötésben a *kötéshő és a zsugorodási hajlam emelkedése* is (amelyet ebben a kísérletben nem rögzítettek). Az útbetonhoz nemcsak nagy hajlítószilárdság szükséges, hanem az is, hogy a lemez kezdeti zsugorodási hajlama ne legyen túl nagy, és így ne keletkezzenek még a hézagvágás előtt zsugorodási repedések.

Ezért érthető ezekután, hogy a különböző országok a cement fajlagos felületének értékére hol alsó, hol felső határt adnak meg, attól függően, hogy a szilárdság csökkenéstől vagy a zsugorodási hajlamtól kívánnak az adott helyzetben biztonságot. Így pl.

az *USA*-ban min. 2800 cm²/g az előírás (de gyakorlatilag mindig 3000...3700 között van);
Ausztriában min. 3300 cm²/g az előírás;
Franciaországban 2800 cm²/g alatt van a gyakorlat;
Nyugat-Németországban a már említett max. 4000 cm²/g az előírás.



7-17c ábra. A cement őrlésfinomsága növeli ugyan a szilárdságot, túl finomra őrölt cementnek azonban túl nagy a zsugorodása és kötéshője



7-18. ábra. A francia gyűrűs cement repedésvizsgálat (Essai de fissurabilité)

Magyarországon a Blaine-féle fajlagos felületre még nincsen előírás, viszont a betonburkolathoz addig felhasznált cementek a következő értékek adódtak:

C-600 tatabányai cement: 2000...2500 cm^2/g
(elért húzószilárdság: cementnél 34, útbetonnál 43 kp/cm^2);

C-600 váci cement: 3200 cm^2/g
(elért húzószilárdság: cementnél 45, útbetonnál 52 kp/cm^2).

Franciaországban az útépítési cementtől még fontos körülményként megkövetelik, hogy a *cement zsugorodása ne legyen túl nagy* és a zsugorodási repedések az ún. *gyűrűs repedésvizsgálat* esetén legalább *15 óra után* következzenek csak be. Azok a cementfajták, amelyek túl nagy szilárdságúak és éppen ezért a kötési gyorsaságuk és zsugorodási hajlamuk nagy, és ezért a burkolatépítéshez kevésbé alkalmasak, 15 óránál hamarabb mutatnak zsugorodási repedéseket. Az ilyen cementeket visszautasítják.

A *gyűrűs repedésvizsgálatot* (Essai de fissuration) az AFNOR-P 15—434 és P 15—402 francia szabványok szerint hajtják végre. Lényegét a 7-18. ábrán látjuk. Egy belső magból és gyűrűből álló kör alakú vályúformában szabványos összetételű cementhabarcsból gyűrű alakú próbatestet készítenek. A gyűrű külső hengerfelületét elektromos áramot vezető festékkel kenik be, és egy áramkör két pólusát rákötik a festékréteg nagyobb hosszára. Ezután megszabott relatív nedvességű és hőmérsékletű kondícionáló szekrénybe teszik a próbatestgyűrűt. Amint a zsugorodás miatt repedés keletkezik, és emiatt a festékréteg megreped, az elektromos áramkör is megszakad, ennek időpontját mérőóra automatikusan jelzi.

Érdekes lesz megemlíteni az eltérő hazai és külföldi gyakorlatot a portlandcementek mellett a kohósalak és traszlisztttel kevert *heterogén cementek* alkalmazása szempontjából. Hazánkban heterogén cementet az 1950-es évek elején alkalmaztak betonburkolat-építéshez is, azonban a 34. sz. Miskolc—Sátoraljaújhelyi út betonján rendkívül hamar bekövetkezett bomlás miatt már 1952-től kezdve megtiltották a kohósalak-portlandcement és a traszportlandcement útépítési alkalmazását. Ugyanakkor tényként kell megállapítani, hogy pl. mint Franciaországban, Németországban és az USA-ban a betonburkolat építéshez is minden korlátozás nélkül szabad alkalmazni szabvány szerinti kohósalak-portlandcementet vagy traszportlandcementet is. A hazai kohósalak-portlandcementek útépítési alkalmasságának esetleges kellő mélységű vizsgálata előtt indokolt a tilalomban kifejeződő óvatosság.

7.3.1.3. A zsugorodási repedésveszély és a cement kémiai összetételének összefüggései

A befűrészelt zsugorodási hézagok alkalmazása mellett egyre fontosabbá válik a korai, hézagvágások előtti repedések megelőzése. Megfigyelték Franciaországban, hogy ugyanazon szabványos szilárdságú, pl. CPA-325 jelű, a szabványkövetelményeknek mindenben megfelelő, de más-más gyárból származó cementek elég eltérően viselkedtek a korai zsugorodási repedések szempontjából. Ezért a francia központi LCPC útlaboratórium (Baron, Brachet—Rolland, Pidoux, 1969 [21]) részletes kísérletsorozatai alapján nagy valószínűséggel tehető fel, hogy a korai zsugorodási vadrepedéseket a klinkert alkotó négy fő ásvány (C_3S, C_2S, C_3Al, C_4AlF) közül a *trikalcium-aluminát* (C_3Al) cementben levő nagyobb mennyisége, aránya teszi repedésre hajlamossá a friss betont.

A vizsgálatok azt bizonyították, hogy a kötés ideje alatt a zsugorodásnak két szakasza van. A repedésekre elsősorban a második zsugorodási szakasz görbéjének emelkedési hajlása, a beton ún. „nervozitási indexe" van hatással. Minél nagyobb a második szakaszban a zsugorodás növekedésének sebessége (azaz a görbe hajlása), annál jobban várható a zsugorodási repedés. Másfelől viszont az is fontos, hogy a beton

szilárdulása úgy menjen végbe, hogy a 6...8 órás beton még viszonylag nagy ($\Delta l/l$) relatív nyúlásokat tudjon elviselni szakadás (repedés) nélkül. Ennek kísérleti vizsgálatakor a gyűrűs kísérlet mintájára a gyűrű alakú betonpróbatesteket tiszta húzással szakították, s előtte mérték a $\Delta l/l$ nyúlást. Öt munkahelyen, ötféle trikalcium-aluminát tartalmú cementet alkalmaztak. Az ötféle cement zsugorodási növekedés sebességét sorra megvizsgálták a második szakaszban, valamint a jellemző, 6 óránál adódó törés alatti nyúlást. Az ötféle építési szakaszon a korai repedések száma erősen eltérő volt. A kísérlet összesített adatai szerint pl. 24 repedés volt 10 km-en azon a szakaszon, ahol kb. 7% volt a trikalcium-aluminát tartalom, és 0 repedés volt azon a szakaszon, ahol a trikalcium-aluminát tartalom is elenyészően kicsi volt.

Természetesen a trikalcium-aluminát tartalom *csupán hajlamossá* teszi a friss útbetont a korai repedésre; az okok másik tulajdonképpeni kiváltó része (utókezelési rendellenesség, egyenlőtlen összetételű vagy erősen késve érkezett és bedolgozott betonok egymás melletti alkalmazása stb.) kivitelezési természetű. A kedvező útcement azonban a viszonylag alacsony trikalcium-aluminát tartalmával jóval érzéketlenebb ezen kiviteli nehézségekre.

Megjegyezzük, hogy több államban, így Magyarországon is 8...9% a szokásos megengedett trikalcium-aluminát tartalom. Az új francia kísérletek és megfigyelések alapján útépítésre előnyös cementfajta esetén ezt a %-számot a korai zsugorodási repedések elleni nagyobb biztonság érdekében erősen le kellene szorítani.

7.3.2. A betonburkolatok adalékanyaga és összetétele

7.3.2.1. Általános szempontok

A betonburkolat lehet egyrétegű vagy kétrétegű.

a) *Egyrétegű burkolat* autópálya vagy nagyforgalmú út esetén a betonlemez teljes vastagságában zúzottkő betonból készül. Az adalékanyag ilyenkor nagy részben eruptív, jó minőségű kőzetből eredő, kőbányából beszerzett, a kőszabványnak megfelelő zúzottkő, zúzalék, néha zúzotthomok, ezeket azonban jelentős részben egészíti ki a folyami vagy gödörhomok. A zúzott anyag alkalmazásának a mélyépítésben szokásos homokos kavicsbeton adalékanyaggal szemben három előnye van:

- a zúzott adalékanyaggal általában nagyobb húzószilárdságot lehet elérni a beton készítésekor;
- a zúzott, nagy szilárdságú, kopásálló adalékanyag a burkolatfelület kopásállóságát, részben érdességét fokozza;
- a zúzottkő és zúzalék mint kőbányai termék viszonylag egyenletes minőségben, készen, számos frakcióban rendelhető meg.

A hazai betonburkolatok túlnyomó része régen is, ma is egyrétegű beton. Ennek a készítése, beépítése, egyaránt a legelőnyösebb, ill. legegyszerűbb. Egyrétegű betont külföldön is sokszor alkalmaznak, csúszózsalus finiserrel, pl. Franciaországban szintén kizárólagos jelleggel. A legtöbb államban azonban az egyrétegű beton messze nem olyan kizárólagos, mint nálunk vagy Franciaországban.

b) *Kétrétegű betonburkolat* — nagy szilárdságú alsó réteggel — két okból épül. Ha mindkét réteg — ritkán — ugyanazon anyagú zúzottkő betonból van, akkor a két rétegben való építés célja csak a felületi vasalás, az acélháló elhelyezése az alsó betonrétegen, amit a felső vékonyabb, pl. 5...6 cm-es réteg fed le. Legtöbbször azonban a kétrétegű beton célja az, hogy az alsó réteg (a teljes vastagság 2/3...3/4 része) olcsóbb, könnyebben beszerezhető homokos kavics adalékanyaggal épüljön. E felett a felső réteget mindig zúzottkő betonból készítik a betonburkolat kopásállóságának, érdességének létrehozása érdekében. Ezt a megoldást számos állam igen nagy terhelésű autópályákhoz régóta sikerrel alkalmazza ma is, függetlenül attól, hogy alkalmaz-e hálós lemezvasalást vagy sem. Mivel a húzóigénybevételek a betonburkolat alsó szélén a legnagyobbak, ezért érthető, hogy az ilyen korszerű kétrétegű betonburkolatban az alsó rétegnek semmivel sem kisebb a szilárdsága, mint a felső rétegé. A gömbölyű adalékanyag esetén ugyan ezt nehezebb elérni, azonban az adalékanyag nagy tisztaságával, főleg a homokok mosásával, a habarcsrész gondos összeállításával, mindkét rétegben azonos minőségű cement felhasználása mellett a gyakorlat tanulsága szerint jól elő tudják állítani homokos kavics adalékú betonnal az akár 60...65 kg/cm² húzószilárdságot is. (Német, osztrák autópályák.) Az alsó réteg anyagával elért költségmegtakarítás egy részét azonban kompenzálja a homokok mosási szükséglete, valamint a nagyobb gépesítés szüksége. Az alsó és felső réteget rendesen két keverőgép, két betonelosztó, két betonfiniser gyártja, teríti és építi be egymás után, 1 órán belül. Ilyen típusú kétrétegű betonburkolat — tehát nagyszilárdságú mosott anyagú alsó kavicsbetonréteg, két egymásutáni géplánccal való beépítés — hazánkban nem épült.

c) *Kétrétegű betonburkolatok gyengébb minőségű alsó réteggel* eredetileg egy kevéssé korszerű régi építési mód, amelyet korlátozottabban ugyan, de hazánkban is alkalmaztak. Ennél a típusnál az alsó réteg előírásszerűen gyengébb minőségű volt, és a felső zúzottkőbeton „koptatóréteg'' húzó- és nyomószilárdságának csak 75%át írták elő az alsó réteg betonjára. Ez ma jelentősebb terhelésű és forgalmú útra alapvetően korszerűtlen előírásnak számít, mert a teherbírást, hajlítási repedésképződést az alsó lemezszél szilárdsága befolyásolja legjobban. Az alsó réteg anyaga helyi, mosatlan, kevéssé osztályozott homokos kavics vagy helyszínen zúzott dolomit, mészkő, homokkő volt. A beépítést egyetlen keverővel és betonfiniserrel végezték, először egy rövid szakaszon az alsó réteget keverték és építették be, majd utána a felső réteget, 1 órán belül a jó kötés érdekében. Ez a módszer, a 75%-os

szilárdságú alsó réteg ma már csak a kisforgalmú utakhoz lenne alkalmazható, ahol a kétrétegű betonburkolat viszont jelenleg nem versenyképes.

d) *Egyrétegű betonburkolat* kisforgalmú utakon külföldön és újabban hazánkban is épül, pl. jelentősebb mezőgazdaságú utakon, ahol főleg kisszélességű csúszózsalus önjáró finiserrel építik. A burkolat anyaga itt természetesen a kisebb igényeknek megfelelően nem kőbányai zúzottkő, hanem helyi anyag, homokos kavics, helyi tört dolomit, mészkő stb., ami gazdaságosan alkalmazható.

7.3.2.2. Hazai előírások a betonburkolat anyagaira

A hazai előírásokat az 1971. évi *ÉKSZ VI. 4. „Betonpályaburkolatok"* előírásai szabják meg.

Adalékanyagok közül a *zúzottkőtermékek* az *MSZ 1002* zúzottkő-szabványban megszabott minőségi követelményeket kell, hogy kielégítsék. Csak NZ vagy KZ anyag alkalmazható. Nagyforgalmú utakhoz (IV...V. forgalmi kategória) csak az *„A"* kőzetcsoport, amíg a kis—közepes forgalmú utakhoz (I...III. forgalmi kategória) az *A* vagy *B* jelű kőzetcsoportnak megfelelő Deval-, Los Angeles- és kristályosítási vizsgálatok határértékeit kell betartani (143. oldal). Az iszap—agyag-tartalom azonban a zúzottkő-szabványtól eltérően legfeljebb 2% lehet.

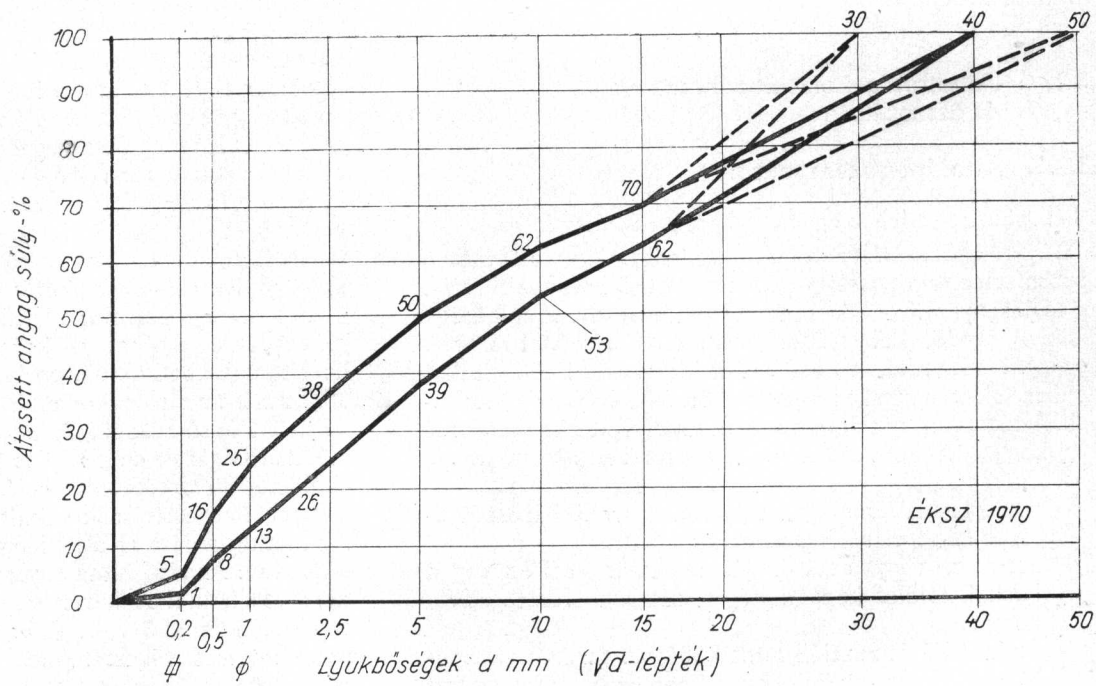
A folyami vagy bányahomok és kavics vegyesszemű és mállástól mentes legyen.

Kohósalakot csak az I...III. forgalmi kategóriában, kétrétegű burkolat alsó rétegében szabad alkalmazni, a felső rétegben sohasem.

Az adalékanyagok szemeloszlására a következő határértékek érvényesek (7-19. ábra):

Szemnagyság	Súlyszázalék
0,2 mm-ig	1... 5
0,5 mm-ig	8...16
1,0 mm-ig	13...25
2,5 mm-ig	26...38
5,0 mm-ig	39...50
10,0 mm-ig	53...62
15,0 mm-ig	62...70
D_{max} mm-ig	100

A 0,2, 0,5, 1,0 mm-es nyílások négyzetesek (sziták), az 1,0, 2,5, 5,0, 10,0, 15,0, 25,0, 40,0 mm-es nyílások kör alakúak



7-19. *ábra.* Az útbeton szemeloszlási határgörbéi az 1971. évi ÉKSZ szerint

7-2. táblázat. Betonburkolatok anyagának összetétele az 1971. évi ÉKSZ VI. 4. szerint

Forgalmi kategória (lásd 56. oldalt)	Előírt szilárdsági értékek I. oszt. minőségnél húzó szilárdság, kp/cm²	nyomó szilárdság, kp/cm²	Minimális cementmennyiség és -fajta	Felhasználandó külön frakciók mérethatárai, mm	A szemeloszlási görbe szükséges helyzete
Nagyon nehéz (V. kat.) (Autópálya)	átl. 50 min 45	átl. 550 min 500	350 kg/m³ C-600	0/3 mm term. h. 3/5 mm term. h. 3/5 mm zúzalék 5/12 mm zúzalék 12/20 mm zúzalék 20/Dmax zúzottkő	Az alsó határgörbe közelében
Nehéz (IV. kat.)	átl. 45 min 40	átl. 500 min 450	325 kg/m³ C-600	0/5 mm t. homok 5/12 mm zúzalék 12/Dmax zúzottkő	A határgörbék között
Közepes (III. kat.)	átl. 40 min 32	átl. 400 min 320	300 kg/m³ C-500	0/5 vagy 0/8 mm $8/D_{max}$	A határgörbék között
Könnyű (II. kat.)	átl. 35 min 28	átl. 350 min 280	300 kg/m³ C-500	0/5 vagy 0/8 $8/D_{max}$	A határgörbék között
Nagyon könnyű (I. kat.)	átl. 30 min 24	átl. 300 min 240	300 kg/m³ C-500	0/5 vagy 0/8 $8/D_{max}$	Határgörbék finomsági modulusától ± 10% eltérés

Kétrétegű betonnál az alsó rétegben legfeljebb 20%-kal kevesebb cement lehet, mint a felső rétegben, de a szilárdsági követelmények az alsó rétegben is azonosak

(rosták). A D_{max} elvileg a betömörített rétegvastagság 1/3 részénél nem lehet nagyobb. (Egyrétegű betonnál nálunk jelenleg $D_{max} = 40$ mm-t alkalmaznak, de pl. kétrétegű beton felső 5 cm-es rétegében viszont $D_{max} = 15$ mm lehet.) A beton adalékanyagát a nagy forgalmú utakhoz mindig 5...6 frakcióból, közepes—kisebb forgalmú utakhoz kevesebb (3...2 frakcióból) kell összeállítani, a 7-2. táblázat szerint. Az adalékanyagnak a határgörbéket figyelembe vevő, több frakcióból való összeállítását a már ismert Rotfuchs-féle szerkesztéssel végezhetjük (7-25. ábra).

A homokfrakciót, a beton habarcsrészét 5 mm alatt különös gonddal kell összeállítani. Igen lényeges a felület zártsága és a beton jó bedolgozhatósága érdekében, hogy a beton anyagának az összes lisztszemnagyságú, 0,2 mm-nél kisebb szemű anyaga a cementtel együtt 350...400 kg/m³ határértékek közé essen. Ha ebből levonjuk az alkalmazott cementmennyiséget, akkor látható, hogy kell-e még adagolni külön 0...0,2 mm közötti szemnagyságú traszlisztet vagy őrölt kőlisztet. (Erre a célra pl. 0/2 zúzott homok felhasználása tilos.) Ha légpórusképzőt alkalmaznak a betonban, akkor a felső határt 2...3%-kal kisebbre kell beállítani.

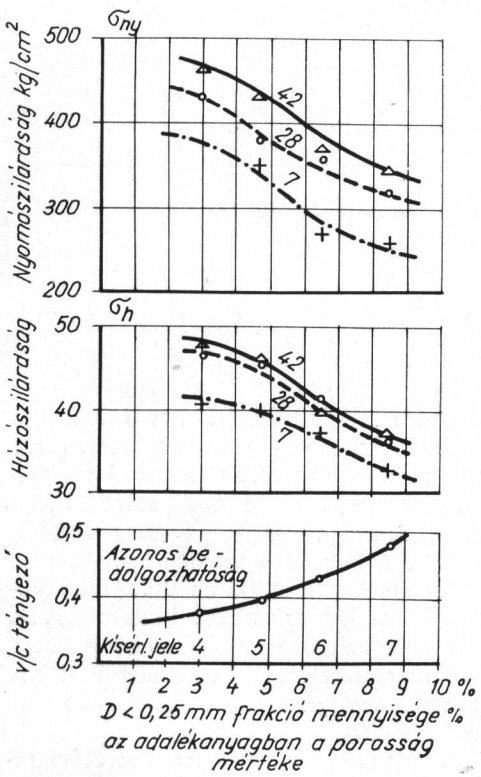
Az előírás megengedi a folytonos szemeloszlás mellett kihagyásos szemeloszlás alkalmazását is, ha 0...3 mm között az előírt szemeloszlási határgörbéket betartották. A 3...20 mm közötti szemnagyságok hagyhatók el, viszont a 20 mm és D_{max} közötti szemeloszlást úgy kell megválasztani, hogy a kihagyásos szemeloszlási görbe finomsági modulusa ne legyen 6,50 értéknél nagyobb.

A beton megtervezését az alkalmazás előtt a laboratóriumban próbatest vizsgálatokkal úgy kell elvégezni, hogy *a laboratóriumi szilárdságok 10%-kal nagyobbak legyenek*, mint amit a munkahelyen, a keverőtelepen kell létrehozni.

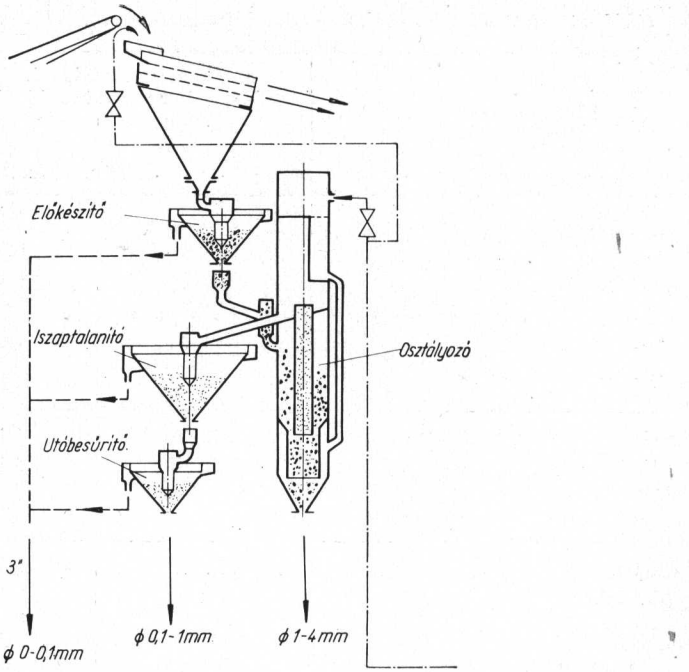
7.3.2.3. Az anyagok tisztasága és a homokfrakció feladata az útbetonban

A húzószilárdság kellő szinten való tartása érdekében útbetonnál különös gonddal kell ügyelni arra, hogy a homokok — de ugyanúgy a többi frakció — *agyag- és iszaptartalma feltétlen maradjon kb. 2% alatt.* (Ez a követelmény szigorúbb, mint pl. a homok-szabvány előírása.) Ugyanakkor megkövetelendő, hogy *a zúzalék és a zúzottkő ne legyen poros, szennyezett.*

Amíg az aszfaltbeton előállításakor a keverőtelepen az adalékanyagokat a szárítódobban felmelegítve, elszívják belőle a port, a 0,09≈0,1 mm alatti szemnagyságú anyagot, ez a beton-adalékanyag esetén általában nem megy végbe. Ezért már a kőbányákból pormentes adalékanyagot kell igényelni, és ha ez nem megoldható, akkor az *adalékanyag mosásával* kell eltávolítani a 0,1 mm szemnagyságon aluli káros porszerű anyagot. A 0,1 mm szemnagyságon aluli anyagként ugyanis tervszerűen a *cementet* juttatjuk pontos adagolással a betonba.



7-20. *ábra.* Az útbeton nyomó- és húzószilárdságának csökkenése az adalékanyag porosságának függvényében, azonos bedolgozhatóságot feltételezve (dr. Járay Jenő, 1962)



7-21. *ábra.* A Rheax-rendszerű adalékanyag mosóberendezés működési elve

A poros adalékanyag így egyrészt károsan növeli a kis szemcsék arányát a keverékben (ezzel az összfelületet növelve cementhiányt idéz elő), másrészt a nagyobb szemcsék oldalait bevonva, azok jó kötését a cementgélhez akadályozza. Ez a körülmény *különösen a húzószilárdságot csökkenti* a betonban.

Az útbetonok alacsony húzószilárdságai legtöbbször a sáros, poros adalékanyagnak tudhatók be. Igen jellemzőek és fontosak a *dr. Járay Jenő* által különböző porosságú útbetonokkal végzett kísérletek, amelyek néhány fontos eredményét a 7-20. ábrán szemléltetjük. Ezek szerint azonos bedolgozási lehetőséghez annál nagyobb víz—cement-tényező szükséges, minél porosabb az adalékanyag. Ez viszont a betonszilárdságot erősen rontja.

A kisebb szemnagyságú adalékanyag mosása az erre a célra készített mosóberendezésekben igen eredményesen lehetséges, amelyekben a víz áramoltatásával az adalékanyagból bizonyos kívánt szemnagysághatáron alul el lehet távolítani a káros anyagot, port, amellett az anyag osztályozható is. A 7-21. ábrán a *Rheax-mosóberendezés* elvi vázlatát tüntettük fel; a berendezés alapelve az, hogy az adalékanyagot áramló vízbe juttatjuk. A víz az anyagot egy ideig magával viszi, az áramlási sebességnek megfelelően osztályozza, ülepíti az egyes frakciókat, majd a nem kívánt kis szemnagyságú anyagot ülepítés nélkül zagyként elviszi az elfolyó víz. A mosás nagy

jelentőségét mutatják többek között az újabb osztrák betonútépítési tapasztalatok; ugyanazon adalékanyag víz és cement alkalmazása mellett mosás nélkül 45 kp/cm² alacsony húzószilárdságot, amíg a Rheax-mosóberendezés használata mellett a magas 70 kp/cm² húzószilárdságot értek el rendszeresen (0,1...5 mm-es mosott anyaggal).

Az adalékanyag minőségét jellemzi még a *szemcsék alakja*, amelyet a már ismert módszerekkel ellenőrizhetünk (138. fejezet), és a zömök, lemezes, hosszúkás jelzőkkel jelölünk. Általában itt is a zömök szemcsealakot kívánja meg az előírás, bár *Kausay* [11] vizsgálatai szerint az 5...22 mm szemnagysághatárokon belül (zúzalékok esetén tehát) a nem zömök, lemezes alak még előnyösebb is a beton húzószilárdságának szempontjából.

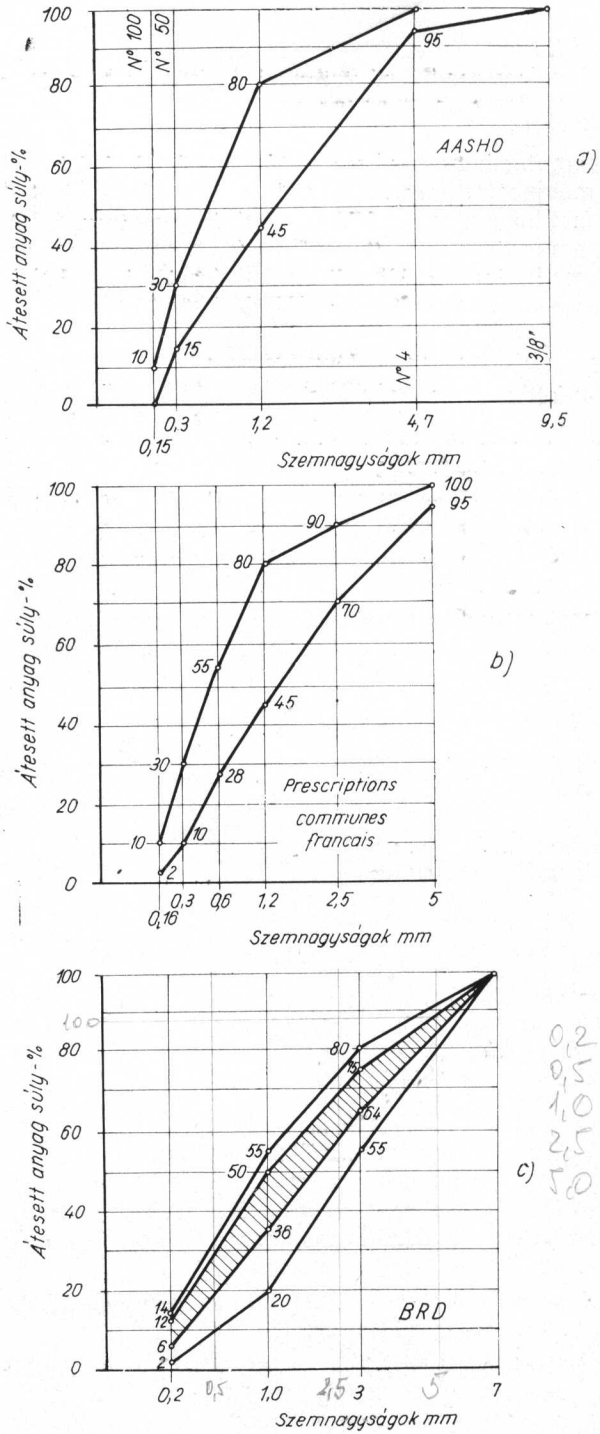
Ugyanakkor a gyakorlat a lemezes zúzalékot a betonburkolatban sem látja szívesen, egyrészt a kétségtelen nagyobb tömörítési munkaigény miatt, másrészt pedig azon félelem miatt, hogy a lemezes szemek hézagvágáskor a hézag szélén csorbulásokat okoznak.

Az adalékanyagok tisztaságán kívül elsősorban az alkalmazott *homokok* szemeloszlása, mennyisége és fajtája befolyásolja erősen az útbeton minőségét és húzószilárdságát. Ha a betonban túl sok a finom anyag, akkor a fajlagos felület erős növekedése miatt a vízszükséglet igen nagy, s ezzel a víz—cement-tényező túl nagy, a szilárdság alacsonyabb lesz. Ha a finom anyag túl kevés, akkor a beton bedolgozhatósága erősen romlik, a kis víztartalom változásokra is igen kényes lesz.

A legtöbb államban majdnem kizárólag természetes (folyami vagy gödör) homokot alkalmaznak, és a kőbányai zúzotthomokot nem tartják megfelelőnek (*Reimer*, 1969 [31)].

A zúzotthomok alkalmazása erősen nehezíti a bedolgozhatóságot, a fajlagos felülete és vízigénye nagyobb, mint a hasonló szemeloszlású természetes homoké.

A homokok szemeloszlásának határértékeit több államban külön is megszabják az útbetonok részére. Így a 7-22. ábrában közöljük sorra az *AASHO*, a franciaországi [31] és a nyugatnémet homok-határgörbéket 5, ill. 7 mm szemnagyság alatt. *Általános külföldi gyakorlat, hogy a homokfrakciót nem egyetlen, hanem többféle, egymást kiegészítő természetes homokfajtával hozzák létre, amelyek közül legalább az egyiket mosott állapotban alkalmazzák.* Ezenkívül *Reimer* ([31] 1969) mint általános nyugatnémet tapasztalatot közli, hogy az erős igénybevételnek kitett betonok esetén a betonadalékanyagban a 0,2 mm-nél kisebb szemű anyag aránya lehetőleg 2%-nál ne legyen nagyobb, az 1 mm-nél kisebb szemű anyag aránya pedig 25%-nál kisebb legyen. Ez akkor tartható be, ha az alkalmazott saját homok szemeloszlásában a 0,2 mm-nél kisebb rész max. 6%-ban van jelen. Ez általában a homok mosásával jól elérhető. A többféle homok alkalmazására nézve egy osztrák, egy francia és egy svájci korszerű betonösszetételt közlünk példaképpen:



7-22. *ábra.* Külön szemeloszlási határgörbék a betonburkolatban alkalmazandó 5...7 mm alatti finomabb rész (homok) szemeloszlására: *a)* az AASHO amerikai előírás, és *b)* a francia *c)* a nyugatnémet gyakorlatban használt előírások

a) *Osztrák bécsi déli autópálya* (Südautobahn) betonösszetétele; formasínes rendszerű finiserrel:

Alsó rétegben:

0,1... 1 mm finom mosott homok	15%	
1 ... 3 mm mosott homok	15%	
3 ... 8 mm homok	18%	(homok össz. 48%)
8 ...15 mm kavics	13%	
15 ...50 mm kavics	39%	(kavics össz. 52%)
	100% +	

+ 330 kg/m³ cement (Z-275).

Felső kopórétegben:

homokfrakció ugyanaz mint fenn	48%	
8...15 mm gránitzúzalék	13%	
15...30 mm gránitzúzalék	39%	(zúzalék össz. 52%)
	100% +	

+ 330 kg/m³ cement (Z-275

A folyamatosan elért húzószilárdság értéke a légpórusképző anyagok alkalmazása mellett is 65...70 kp/cm² között mozgott.

b) *Francia autópályabeton-összetételek* (csúszózsalus finiser)

Párizs—Lyon (Reverdy [22, 23])

Finom homok, 0...0,2 mm	3%
Homok, 0...5 mm	33%
Mészkőzúzalék, 5...20 mm	32%
Mészkőzúzalék, 20...40 mm	32%
	100% +

+ 330 kg/m³ cement (CPA 210/325) $v/c = 175/330 = 0{,}53$ (!).

Párizs—Dijon [22, 23]

Folyami homok (Saone), 0...4 mm	37%
Mosott diorit zúzalék, 5...25 mm	25%
Mosott diorit zúzottkő, 25...50 mm	38%
	100% +

+ 315 kg/m³ cement, $v/c = 155/315 = 0{,}49$ (!).

A húzószilárdságok plasztifikátor és légpórusképző együttes alkalmazása mellett is 28 napos korban 60 kp/cm² körül ingadoztak.

c) *Svájci autópályabeton-összetétel* (Betonstrassen AG-EMPA [39]) (formasínes rendszerű finiserrel)

Mosott homok, 0...4 mm	24%
Mosott zúzotthomok, 2...4 mm	10%
Zúzalék, 6...10 mm	33%
Zúzalék, 16...32 mm	33%
	100% +

+ 350 kg/m³ portlandcement.

Ezekután bemutatjuk a 7-23. ábrában a hazai, 60-as évek közepén alkalmazott útbeton adalékanyagait és egy jellemző szemeloszlási görbét. Jellemző egyrészt, hogy 1 frakció homok (20...25%) és 4 frakció 5 mm-nél nagyobb zúzalék (80...75%) az összetétel, homokban szegény keverék. Emellett az alkalmazott, pl. délegyházi homok jellemző sok hazai homokfajtára: rendkívül egyenlőtlen, hiányzik belőle a durvább rész, túl sok a finom rész. A 350 kp/cm² cementadagolás mellett a beton húzószilárdsága nem volt kielégítő, sokszor szállt a 45...50 kp/cm² érték alá.

Mivel legtöbb hazai homokunk hasonlóan túl finom, egyenlőtlen szemeloszlású, ezért különösen ajánlatos lenne több osztályozott és mosott homokfrakció alkalmazása, nagyobb mennyiségben. A természetes homok és a 0/5 zúzotthomok együttes alkalmazása már egy közbenső lépés, amely már jobb húzószilárdságot ad.

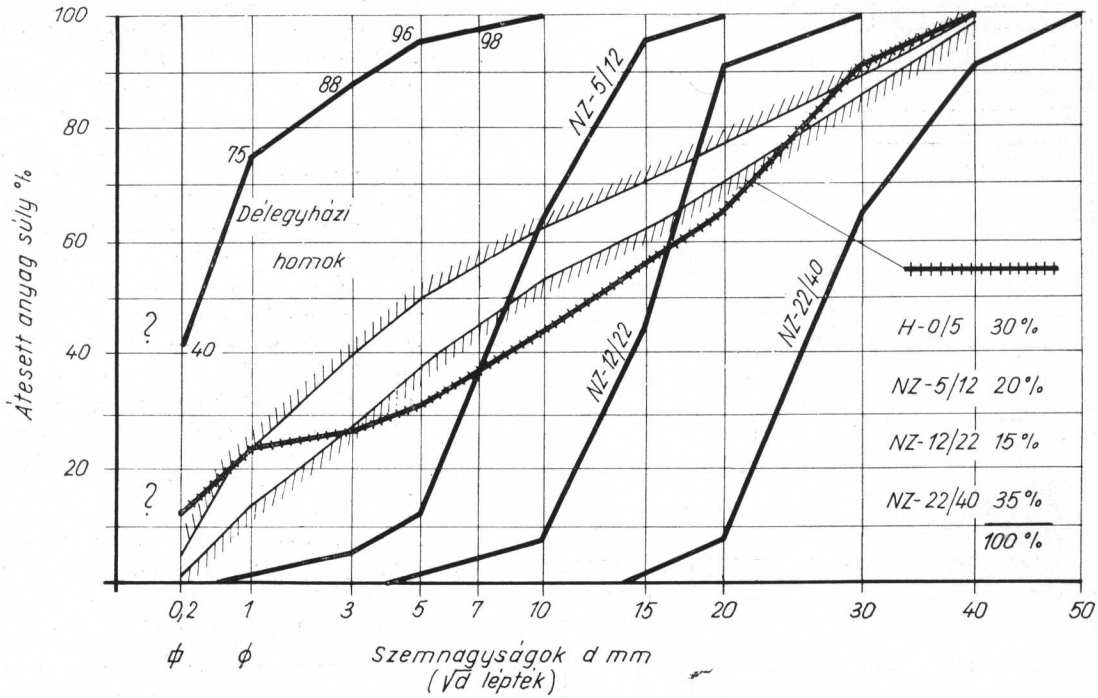
A 0,2 mm-en aluli szemnagyságok a cementadagolással együtt bizonyos elég szűk határok szerint sem túl kicsi, sem túl nagy mennyiségűek nem lehetnek, mert az adaléknak ez a lisztfinomságú része adja a cementtel együtt a jó bedolgozhatóságot, a kellő víztartást, a pórusok kitöltését, és a betonfelület kellő habarcsos zártságát. *Hummel* előírásait erre vonatkozóan a következő táblázat tartalmazza:

Cement-adagolás, kg/m³	Lisztfinomságú anyagok		Lisztfinomságú anyagok és a cement összege (kg/m³ beton)
	Súly% (adalékra)	kg/m³ beton (kész betonra)	
400	0	0	400
350	4... 5	60... 70	410...420
300	6... 7	110...130	410...430
250	8...10	170...180	420...430

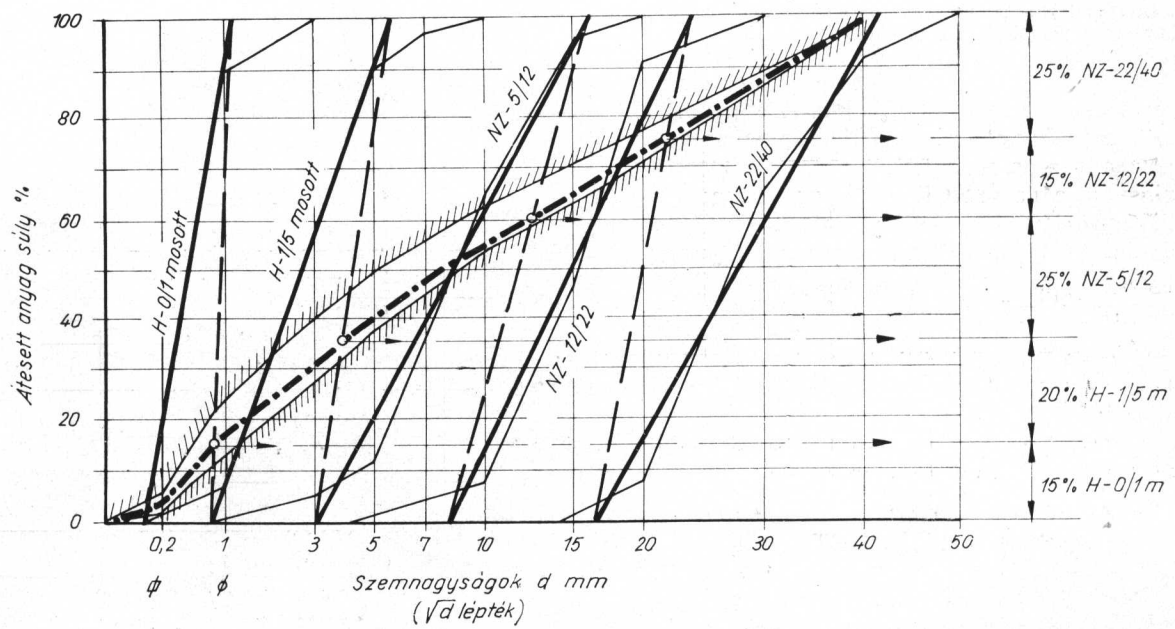
Így tehát egy kész beton m³-ben az alkalmazott cement és a lisztfinomságú (< 0,2 mm) anyagok összegének közel állandónak kell maradnia bármely keverékben (420 kg/m³ körül). Hiány esetén a *homokhoz megfelelő mennyiségű kőlisztet, traszlisztet kell adagolni.*

A francia és osztrák 37...48% homok-, ill. habarcsrész jó bedolgozhatóságot ad, és lehetőséget teremt légpórusok bevitelére a betonba. Az így kapott nagyobb habarcstartalom ilyen mértékben még nem jelent okot a zsugorodási repedések szaporodására, ezek okai elsősorban más tényezők (522. oldal).

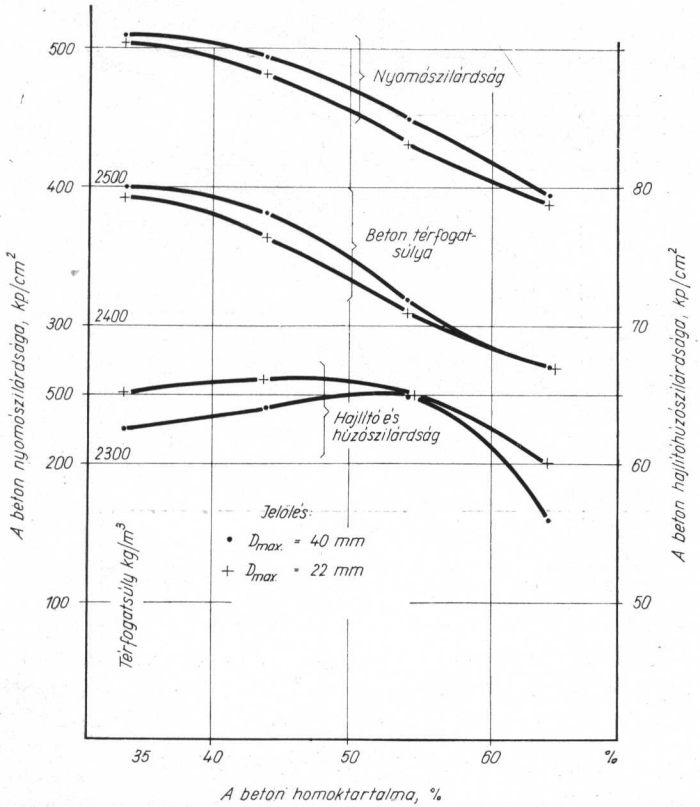
Végezetül megjegyezzük, hogy az útbetonban az 5...8 mm feletti szemnagyságú zúzalék és zúzottkő szemeloszlása viszonylag másodrangú kérdés a homokfrakció-eloszlás és mennyiség fontosságához képest. A maximális szemnagyság lecsökkentése 65-ről 40 mm-re mindenképpen előnyös szilárdsági, bedolgozási és finiser-gépkímélési szempontból egyaránt. Régebben a Fuller-görbét alapvető fontosságúnak



7-23*a ábra*. Nem mosott, egyetlen, túl finom homokkal készült útbeton-adalékanyag összetétele a húzószilárdság szempontjából kedvezőtlen

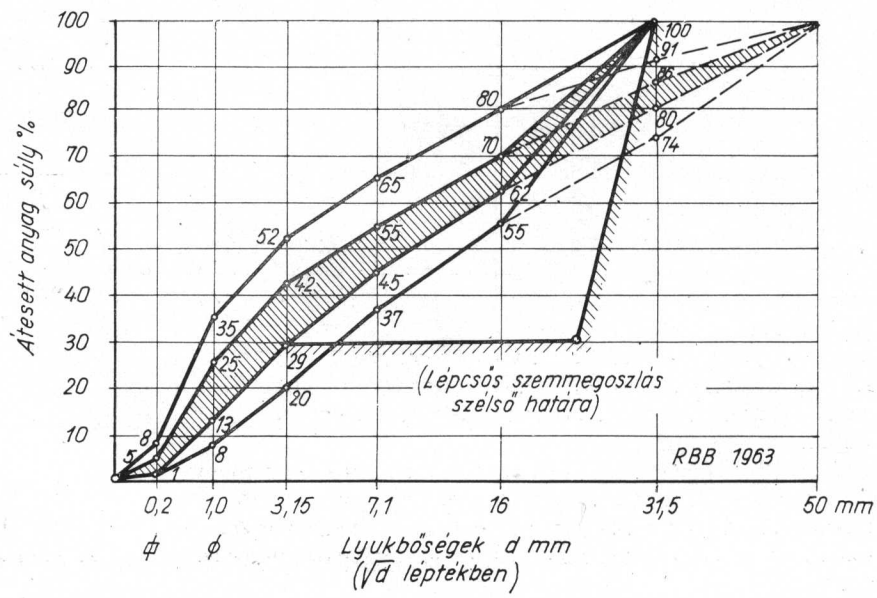


7-23*b ábra*. Jóminőségű, mosott homokok alkalmazásával, a Rotfuchs-szerkesztés útján tervezett útbeton-adalékanyag összetétel, az ÉKSZ határgörbéi között



7-23c *ábra.* A beton homoktartalmának és maximális szemnagyságának a hatása a húzó- és nyomószilárdságokra. Útbetonnál csak a húzószilárdság a mértékadó. (*BME* Építőanyagok Tanszék)

tartották az útbetonhoz, holott ez a nyomószilárdság és nem a húzószilárdság szempontjából optimális. Az útbeton optimálisabb szemeloszlása a nagyobb szemnagyságok esetén a Fuller-görbe feletti görbe, amint azt a 7-24. ábrán az 1963. évi nyugatnémet útbeton-határgörbén, s előzőleg az ezzel rokon újabb magyar határgörbéken (7-19. ábra) látjuk.



7-24. *ábra.* Az 1963. évi nyugatnémet betonútépítési irányelvek (RBB) által adott határgörbék az útbeton adalékanyagára

7.3.2.4. Kihagyásos szemeloszlású útbeton-adalékanyag tervezése

Lépcsős (vagy kihagyásos) szemeloszlású útbeton-adalékanyagot szintén előnyösen lehet alkalmazni, ha bizonyos frakciókat nehéz beszerezni. A tudatosan és jól tervezett lépcsős szemeloszlású beton nem keveredik szét, nem dolgozható be nehezebben, sőt több ország tapasztalata szerint még előnyösebb is, mert *az ilyen beton húzószilárdsága még kissé nagyobb is lehet.*

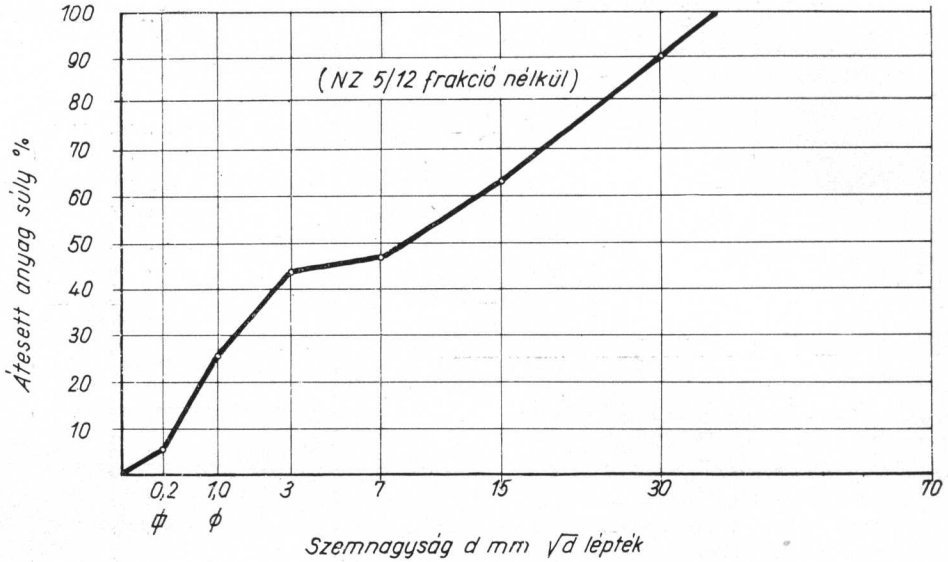
A lépcsős szemeloszlású beton adalékanyagának szemeloszlási görbéje tehát nem folytonos, mert belőle a 7-25*a* ábra szerint egy vagy több frakció hiányzik. (Pl. az NZ 5/12 anyag.) Az adalékanyag összetételének megtervezésekor az alábbi tapasztalati szabályokat kell betartani [25, 26]:

a) A kimaradt, kihagyott adalékanyag-frakció felső névleges szemnagysága legfeljebb 7-szer akkora lehet, mint az alsó névleges szemnagysága.

b) A lépcsős szemszerkezetű adalékanyagot jellemző betontechnológiai mérőszám (pl. a finomsági modulus vagy a fajlagos szemcsefelület, átesési összegszám stb.) azonos kell legyen egy tűrési határon belül az alapul vett ideális folytonos szemeloszlási görbe (pl. a megadott határgörbék) hasonló jellemző mérőszámával.

Nálunk többnyire az *Abrams-féle m finomsági modulussal* jellemzik a beton szemszerkezetét, szemeloszlását betontechnológiai szempontból:

$$m = \frac{\Sigma b}{100} = n - \frac{\Sigma a}{100},$$



7-25a ábra. Kihagyásos szemeloszlású útbeton-adalékanyag szemeloszlási görbéje

ahol a *b* értékek jelentik a szemeloszlási görbén a Tyler-féle szitasorozat helyein leolvasott *fennmaradt súly% értékeket*, az *a* értékek ugyanitt az *átesett súly% értékeket*, *n* pedig a felhasznált Tyler-sziták száma. Az *m* finomsági modulus alkalmazásának ilyenkor az az előnye, hogy *dr. Palotás László* professzor kísérletsorozatai alapján hazai adalékanyagokra megadta a *D* mm legnagyobb szemnagyság és a *C* (kp/m³) alkalmazott cementadagolás függvényében a legkedvezőbb finomsági modulus értékét:

$$m_0 = 2{,}66 \lg D - 0{,}84 - 0{,}0028\, C.$$

Az útbetonnál szóba jövő *D* és *C* számszerű értékei táblázatosan:

Legkedvezőbb finomsági modulusok (m_0)

D mm = Cement kg/m³	30	40	60
300	5,60	5,95	6,40
350	5,75	6,10	6,55
400	5,90	6,20	6,70

(A zúzott adalék miatt 2...3%-kal kisebb értékek is vehetők az m_0 értékére; a valóban alkalmazott *m* modulus határai tűrésszerűen $0{,}89\ m_0 < m < 1{,}07\ m_0$ lehetnek. Interpolálás lehetséges.)

Nálunk a lépcsős szemeloszlású útbetont eddig ritkán alkalmazták, részben amiatt, hogy az adott finomsági modulusra próbálgatva tervezett adalékanyag kényelmetlen és szokatlan.

A következőkben egy igen *egyszerű grafikus szerkesztést* szemléltetünk ismét *Rotfuchs* nyomán [26] *a lépcsős szemszerkezetű beton* adalékanyagának gyors megállapítására. Alapul lehet venni a 7-19. vagy 7-24. ábrák szerinti határgörbéket.

Finomsági modulus helyett a szemeloszlást jellemző mérőszámként az azzal erősen rokon, a szemeloszlási görbe alatti területtel arányos Σa *átesési összegszámot* alkalmazzuk a szerkesztéskor. Mivel a gyakorlatban a 0,2, 1, 3, 7, 15, 30, 70 mm-es méretű 7 db szitát, ill. rostát alkalmazzák, az adalékanyagból az egyes rostákon átesett anyag súly%-át, tehát a szemeloszlási görbe ordinátáit egyszerűen összegezik:

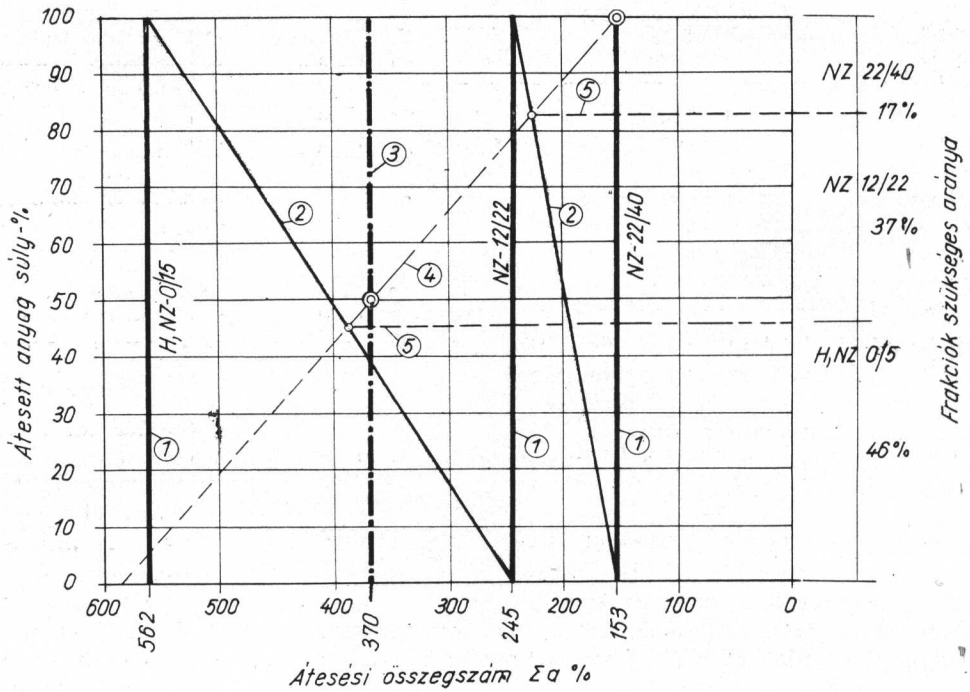
$$\Sigma a = (a_{0,2} + a_1 + a_3 + a_7 + a_{15} + a_{30} + a_{70})\%.$$

Így pl. a 7-24. ábrán látható, és a jó minőségű útbetont jellemző sraffozott terület határgörbéinek ordinátáit összegezve a $\Sigma a = 350\%$ és 397% *átesési összegszámokat* kapjuk meg alsó és felső határképpen. Ezek között a $\Sigma a = 370\%$ átesési összegszámot fogadjuk el a tervezés alapjául, és olyan frakciókihagyásos, lépcsős szemeloszlású adalékösszetételt kívánunk megállapítani, amelynek az átesési összegszáma szintén 370% körüli érték.

A beton-adalékanyagot pl. az NZ 5/12 frakció kihagyásával az alábbi táblázatban látható szemeloszlású H, NZ 0/5, NZ 12/22 és NZ 22/40 frakciókból kívánjuk megtervezni. Az egyes frakciók átesési összegszámai így:

d mm		0,2	1	3	7	15	30	70	Σa %
H, NZ	0/5	10	57	95	100	100	100	100	562
NZ	12/22	—	—	—	4	45	96	100	245
NZ	22/40	—	—	—	—	3	50	100	153

A szerkesztést a 7-25*b* ábrán végezzük el. A derékszögű koordináta-rendszerben ordináták az átesett súly% értékek 0...100% között, abszcisszák a Σa átesési összegszámok.



7-25b ábra. Lépcsős, kihagyásos szemeloszlású útbeton adalékanyagának meghatározása a Rotfuchs-féle szerkesztéssel, az átesési összegszámok értékelése alapján

Először vastag függőleges egyenesekkel az egyes frakciókat ábrázoljuk a nekik megfelelő 560, 245, 153% átesési összegszámoknál *(1)*. Vékony ferde vonalakkal összekötjük a vastag frakcióvonalak felső végpontját a következő frakció alsó végpontjával *(2)*.

Ezután eredményvonallal behúzzuk a tervbe vett $\sum a$ átesési összegszám (itt 370) helyén az összekevert adalékanyag függőleges vonalát *(3)*. Ennek felezőpontját (kettős kör) összekötjük szaggatott vonallal a legnagyobb frakció függőlegesének felső végpontjával *(4)*.

Ahol ez a szaggatott emelkedő összekötővonal metszi a vékony eső összekötővonalakat, a metszéspontokat vízszintesen kivetítjük az ordinátára *(5)*. A kapott metszékek megadják az egyes frakciók szükséges keverési súly% értékeit.

A szerkesztés helyességét táblázatosan számítva ellenőrizzük, hogy a 46% : 37% : 17% arányban kevert lépcsős szemeloszlású adalékanyag valóban a tervezett $\sum a = 370\%$ körüli átesési összegszámmal jellemezhető-e. Az ellenőrzés végrehajtása:

d, mm	0,2	1	3	7	15	30	70	*a*%
100% H, NZ 0/5	10	57	95	100	100	100	100	*562*
100% NZ 12/22	—	—	—	4	45	96	100	*245*
100% NZ 22/40	—	—	—	—	3	50	100	*153*
46% H, NZ 0/5	5	26	44	46	46	46	46	
37% NZ 12/22	—	—	—	1	17	35	37	
17% NZ 22/40	—	—	—	—	0	9	17	
100%	5	26	44	47	63	90	100	*375%*

Látjuk, az eredmény megfelelő, mert a szándékolt $\sum a = 370\%$ helyett kapott 375% igen jó megközelítést képez. A módszert minden esetre nem szabad mechanikusan kezelni, és különösen a 7 mm alatti szemcsék megoszlását és a lisztfinomságú részek mennyiségét a már mondott szempontok szerint kell ellenőrizni lépcsős szemeloszlás mellett is.

7.3.2.5. A víz—cement-tényező és a bedolgozhatóság

A keverésnél felhasznált víz mennyisége jelentősen befolyásolja egyrészt a betonszilárdságát (több víz rontja), másrészt a beton bedolgozhatóságát (több víz javítja). Ezért egy optimális értéket alkalmaznak, amelyet a *víz—cement-tényező* v/c, azaz a vízsúly és a cementsúly arányszámának felvételével szabnak meg.

Hazánkban az alkalmazott víz—cement-tényező igen alacsony volt, 0,38...0,42, jelentős betömörítési nehézséget okozva a régi habarcsszegény betonban.

Ma a habarcsdúsabb beton $v/c = 0{,}45$ értéke körül ingadozik a tényező, figyelembe véve, hogy a húzószilárdságot a v/c arány lecsökkentése korántsem javítja jelentősen, kisebb emelése nem rontja különösen.

A német, osztrák útbetonok a 0,42...0,45 közötti értékkel készülnek, amíg a francia csúszózsalus finiserrel bedolgozott betonburkolatokhoz a jóval magasabb 0,50...0,53 értéket alkalmazzák. (Az USA-ban ugyanezen csúszózsalus bedolgozás

esetén is 0,45 körüli a tényező [24].) Ugyanakkor mind a német, mind a francia útbeton húzószilárdsága általában egyformán az 55...60 kp/cm² magas értéken áll, amíg az amerikai útbeton szilárdsága 50 kp/cm² alatt van. Ebből is látható, hogy a víz—cement-tényező értéke egyedül még nem határozza meg a beton szilárdságát, ezt az alkalmazott betontechnológiai módszerek, döntések összessége együttesen szabja meg.

A bedolgozhatóságot jelentősen meg lehet könnyíteni a *plasztifikátorok* alkalmazásával, a vízmennyiség csökkentése mellett is. Ezeket az általános mélyépítési betontechnológiából ismert javítóanyagokat az útbetonhoz is előnyös alkalmazni.

7.3.2.6. A légpórusképző anyagok és a légpórusok az útbetonban

A beton alkotóeleme még a megszilárdult tömör betonban levő *levegő* is. A bedolgozáskor, vibráláskor a betonból a levegő nagy része eltávozik, és hajszálvékony járatokat hoz létre, ahol egyrészt a felesleges víz elpárologhat és érvényesül a kapillaritás jelensége is. A jól tömörített közönséges útbeton levegőtartalma 1,0...1,5% körüli.

A betontechnológia utóbbi évtizedének egyik legjelentősebb eredménye a *légpórusképző anyagok* alkalmazása. Ezeket a többnyire szabadalmazott, rendesen szerves vegyi anyagokat a cement fél súlyezreléke körüli mennyiségben alkalmazzák úgy, hogy oldat alakban a keverővízzel keverik (esetleg néhol por alakjában a cementtel keverik gyárilag). A légpórusképző anyagok a tömör betonban igen sok egyenletesen szétosztott, 50...300 $\mu = 0{,}05...0{,}3$ mm átmérőjű légbuborékot, *mikropórust* hoznak létre, és ezzel a levegőtartalmat 3,5...6% körüli értékre emelik fel. Az egyenletesen elosztott mikropórusok előnyei a következők:

1. A kis légbuborékok megszüntetik, megakasztják a kapilláris hatást a beton kapilláris járataiban, így a víz felülről, alulról kevésbé tud a betonba behatolni. Ez egyrészt fokozza a *beton vízzáróságát*, szulfátos vízzel szembeni korrózióállóságát, másrészt *erősen javítja a beton fagyállóságát*. Különösen a jeges útfelület felolvasztása érdekében *sószórással kezelt betonburkolatokban* a légpórusképző anyaggal kevert beton nem károsodik, pedig a sószórás a nem légpórusos beton felületét hamar kikezdi és erősen korrodálja.

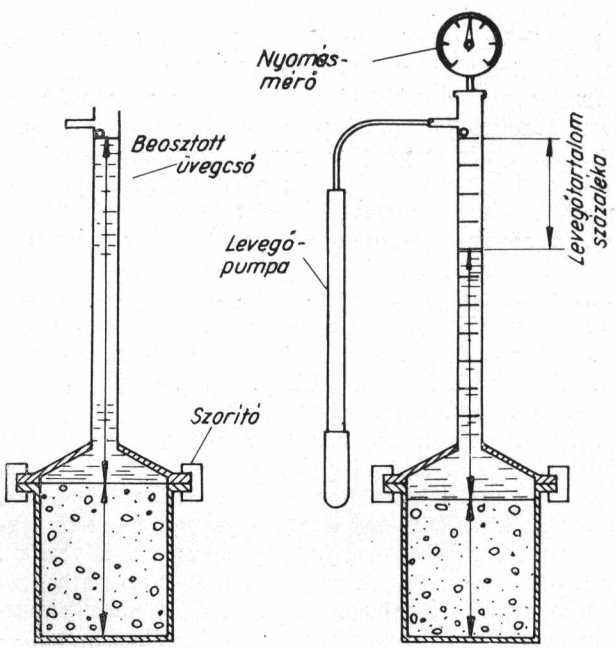
Mindezen előnyök azért jönnek létre, mert a beton kapilláris vékony járatait a légpórusok megszakítják, a víz beszivárgásának útját állják. Ezért a felületen csak kevés víz fagy meg a beton hézagaiban. A fagy miatt a víz kiterjedése most a beton roncsolódása nélkül mehet végbe, mivel a pórusokban a légbuborékok légpárnaszerűen összenyomódva, helyet adnak a víz kiterjedésének.

2. A légpórusképzővel adagolt friss betonban a légbuborékok csökkentik a keverék belső súrlódását, a *beton könnyebben bedolgozhatóvá válik*. A légpórusképző anyagoknak tehát enyhe plasztifikáló hatása is van. Ezenkívül a *friss beton szétkeveredését is erősen akadályozzák* a légpórusok a tapasztalat szerint; ezáltal a légpórusos beton jobban bírja a szállítást a központi keverőgéptől a beépítés helyéig.

3. A légpórusok a beton nyomószilárdságát kismértékben csökkentik, legfeljebb 10%-kal. Sok esetben a nyomószilárdság-csökkenés nem is tapasztalható, mivel az egyidejű plasztifikáló hatás miatt alacsonyabb víz—cement-tényezővel is jó bedolgozhatóságot kapunk. Igen érdekesek és fontosak viszont azok a hazai [3] és külföldi kísérletek [29, 30], amelyek szerint a *beton hajlító—húzószilárdságát a légpórusképző anyagok növelik vagy nem csökkentik.*

Mindezek után érthető, hogy a legtöbb külföldi államban a légpórusképző anyagokat *kötelezően* előírják a betonburkolatok építéséhez. A megkövetelt légpórusok aránya általában 4...5%, de legalább *3,5 térf.%*. Ezt naponta három alkalommal ellenőrzik a helyszínen a beépítésnél *légpiknométerrel* (7-26. ábra). A légpiknométerrel a nyomáskiegyenlítődés elvén tudjuk mérni a térfogatot, ill. a légpórusokat.

A légpórusképző, felületaktív habképző anyagok működése abban áll, hogy leszállítják a víz felületi feszültségét, és így a víz az adalékanyag szemcséit gyorsabban és jobban nedvesíti be. Így a keverés közben a levegővel érintkező adalék-



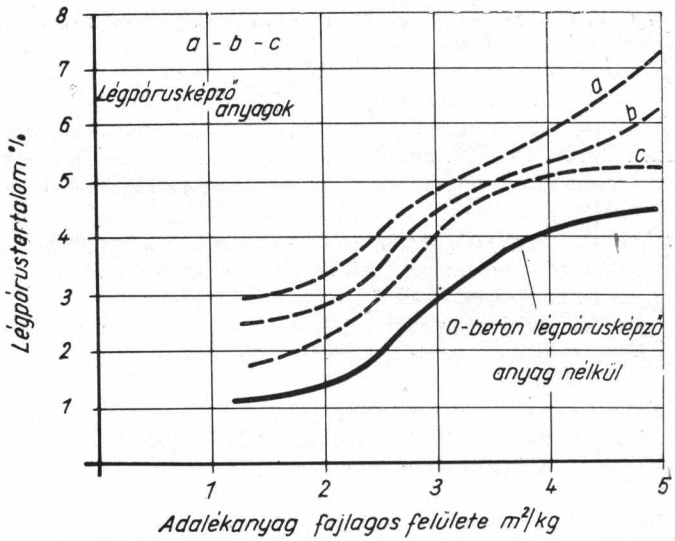
7-26. ábra. A beton légpórusainak közelítő térfogat%-át az építés során naponta háromszor ellenőrzik a légpiknométerrel a külföldi gyakorlat szerint

anyag-felületekre tapadó finom légbuborékok a habtartó felületaktív anyag hatására a szilárdulás alatt is megmaradnak. Lényeges, hogy a légbuborékok egyenként zártak, és nem képeznek kapilláris rendszert.

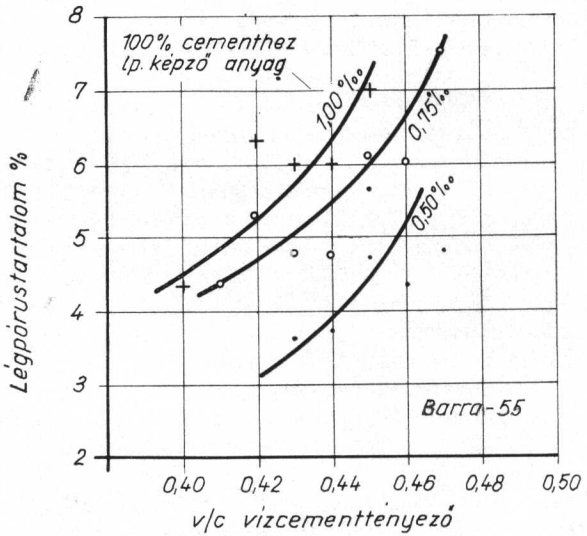
Hazai vizsgálatok szerint (*Cságoly—Buócz* [12]) a légpórusképzés csak olyan betonban lehetséges, amelynek eredetileg is egy minimális értéknél nagyobb, kielégítő habarcstartalma van, másszóval, az adalékanyag fajlagos felülete nem túl kicsi. A 7-27a ábrán látható, hogy különböző légpórusképző anyagokat alkalmazva, a légpórusok mennyisége az adalék fajlagos felületével együtt nő. Más svájci kísérletek azt mutatják (7-27b ábra [29, 30]), hogy a légpórustartalom egy adott beton-adalékanyag esetén növekszik a *v/c* víz—cement-tényezővel, valamint a légpórusképző anyag jelentősebb mennyiségnövelésével. Abszolút értelemben igen kevés a légpórusképző anyag szükséglet, a cementmennyiség 0,5...1‰-e körüli értékben adagolják a keverővízhez, előzetesen feloldva. Ezért a légpórusok növelését elsősorban a felületaktív szer mennyiségének növelésével érdemes elősegíteni, nem pedig a víz—cement-tényező növelése útján, ami a szilárdságot rontja.

A légpórusok mennyiségére a bedolgozáskor a vibráció mennyisége is hatással van. Ha ez túl erős és hosszú, akkor a légpórusok mennyisége csökken.

Légpórusképző szerek számos országban számos gyártmány, szabadalom alapján sokféle név alatt készülnek (pl. Barra, Mischöl, Sulfaril stb.). Igen fontos ezek egyenletes minősége. Ausztriában részletesen kidolgozott irányelveket adtak ki a légpórusképző anyagok minőségi és átvételi vizsgálatára, valamint a gyártó üzem minőségi ellenőrzése számára. (*Springenschmid*, 1969 [30].) Ennél a módszernél nem az erősen közelítő jellegű légpiknométeres mérést veszik alapul, hanem a már megszilárdult betonból kivágott csiszolatok mikroszkóp alatti részletes vizsgálatát (időtartam: 3...4 h). A 20 éves amerikai vizsgálatokra alapuló ASTM-szabványban rögzített Powers-féle módszer alapján az ún. *TF* „távolságfaktor" értékét állapítják meg, amely a cementkövek átlagos távolsága a legközelebbi légpórusig, közelítően leegyszerűsítve a légpórusok egymástól való átlagos távolsága. Az USA-ban és Európában végzett vizsgálatok szerint az útburkolatokon a fagytól, sózástól komoly károk akkor lépnek fel, ha ez a *TF* távolságfaktor 0,4 mm vagy nagyobb; a biztonság érdekében azonban *0,25 mm* a megengedett távolságfaktor érték. A jó légpórusképzők igen sok, igen apró, 0,01...0,2 mm közötti átmérőjű buborékot képeznek, ezek *TF* értéke kicsi, 0,25 mm alatti. A gyenge, rosszabb légpórusképzők 0,3 mm és nagyobb légpórusokat képeznek, ezek *TF* faktora nagy, a védőhatása kicsi. A gyakorlatban az építési munkahelyen a mikroszkópos mérés nem alkalmazható, e helyett — a piknométeres méréssel párhuzamosan — előnyös lehet a megszilárdult betondarabokat (pl. 2 napos 60...80 °C-ú meleg vízben való szilárdítás után) minden megmunkálás nélkül kézi mikroszkóp-nagyítóval megvizsgálni,



7-27a ábra. Az útbetonban légpórusképzés csak kellő habarcstartalom mellett lehetséges. A légpórusok mennyisége az adalékanyag fajlagos felületével növekszik (*Cságoly—Buócz* [12])



7-27b ábra. A légpórusok mennyisége a víz—cement-tényező növekedésével vagy a légpórusképző szer mennyiségének jelentős növelésével emelkedik [30]

mert kis gyakorlattal a légpórusok eloszlása, nagysága és alkalmassága megfigyelhető.

Érdemes végezetül közölni *Springenschmid* után két összeállítást a légpórusok hatásáról és képzési körülményeiről [30].

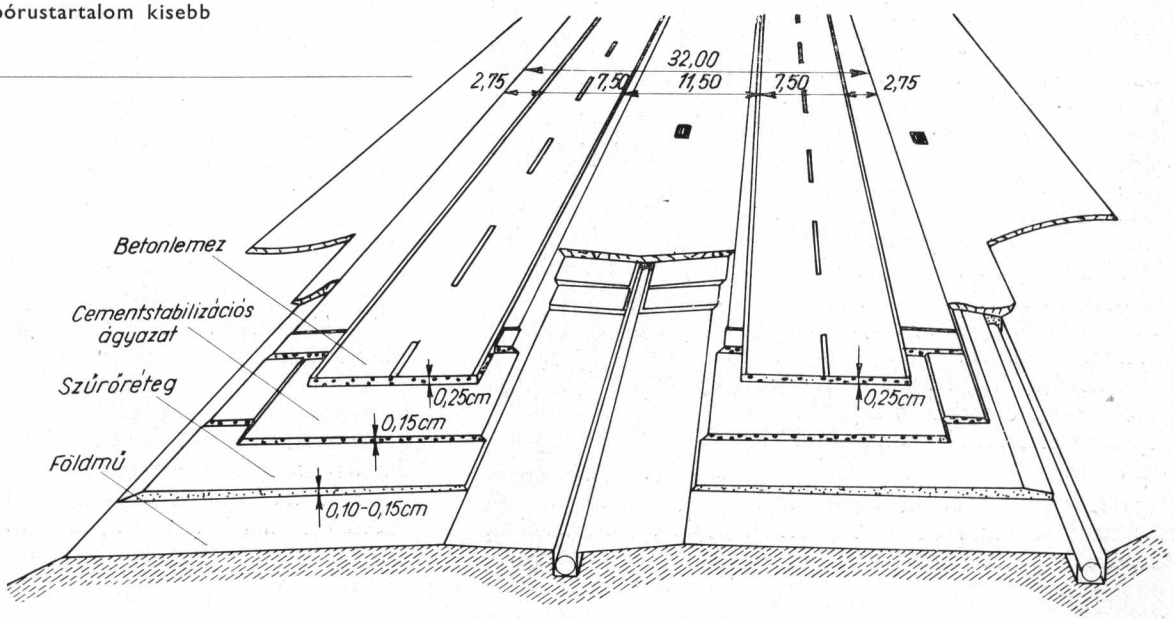
a) A légpórusok hatása a beton tulajdonságaira

(A beton anyagának összetartozása jobb a szétkeveredés veszélye kisebb)

Konzisztencia	a beton lágyabb lesz, tehát 1% mikrolégpórusonként kb. 3 l/m³ vízzel és 0,5% finom homoktartalommal (0,1...1 mm) kevesebbet kell adagolni
Nyomószilárdság	kissé csökken, ha a fenti korrektúrákat nem alkalmazzák, és a pórusok sokszor nagyok
Hajlító—húzószilárdság	majdnem változatlan
Fagyállóság és olvasztósóállóság	igen jelentősen nagyobb

b) Befolyások a légpórustartalom és a pórustávolság nagyságára

A légpórusképző anyag megduplázása	a légpórustartalom legalább 2%-kal nagyobb
Több finom homok, 0,2/0,6 mm	a légpórustartalom nagyobb
Több lisztszemcséjű anyag (kisebb 0,2 mm-nél)	a légpórustartalom kisebb
Finomabban őrölt, nagy szilárdságú cement (pl. Z-475, részben Z-375)	a légpórustartalom kisebb
Egy másik cementgyár terméke	a légpórustartalom lehet kisebb vagy nagyobb
A légpórusképzőt a hozzáadás előtt a keverési vízben oldják	a légpórustartalom nagyobb
A keverési idő kb. 1,5 min-nál nagyobb	a pórustávolság kisebb
A kész betont nagyon sokáig szállítják	a légpórustartalom kb. 0,5...0,8%-kal kisebb, a pórustávolság azonos
A betont nagyon sokáig vibrálják	a légpórustartalom kissé kevesebb, a pórustávolság kissé kisebb
Alacsony betonhőmérséklet	a légpórustartalom többnyire kissé nagyobb



7-28. ábra. A Paris—Lyon közötti autópálya merev pályaszerkezete (*1965*)

7.4. BETONBURKOLATOK PÁLYASZERKEZETE

7.4.1. Példák betonburkolatok pályaszerkezetére

A szerkezeti kialakítás részletes tárgyalása előtt előnyös lesz néhány jellegzetes kivitelezett példát ismertetni. Elsősorban utalunk az 1*a*...1*g*/7. ábrára (454. oldal), amelyen a hazai merev pályaszerkezetek összefoglalása van, az M-7 autóút 1970. évben épült szerkezeti megoldásáig. A 7-28. ábrán most a francia Paris—Lyon közötti *A6* autópálya 1969. évi szakaszának jellemző merev pályaszerkezetét látjuk, rendkívül jellemzően a négy alapvetően fontos szerkezeti rétegre: betonlemez—alapréteg—védőréteg—földmű.

A 7-29. ábrán végül a nyugatnémet autópálya-hálózat „Hansalinie" nevű, a Ruhr-vidék—Hannover—Bremen közötti, 1967 körül épült új vonalának a merev pályaszerkezeteit látjuk, hét különböző építési szakasz hétféle szerkezeti megoldását [40].

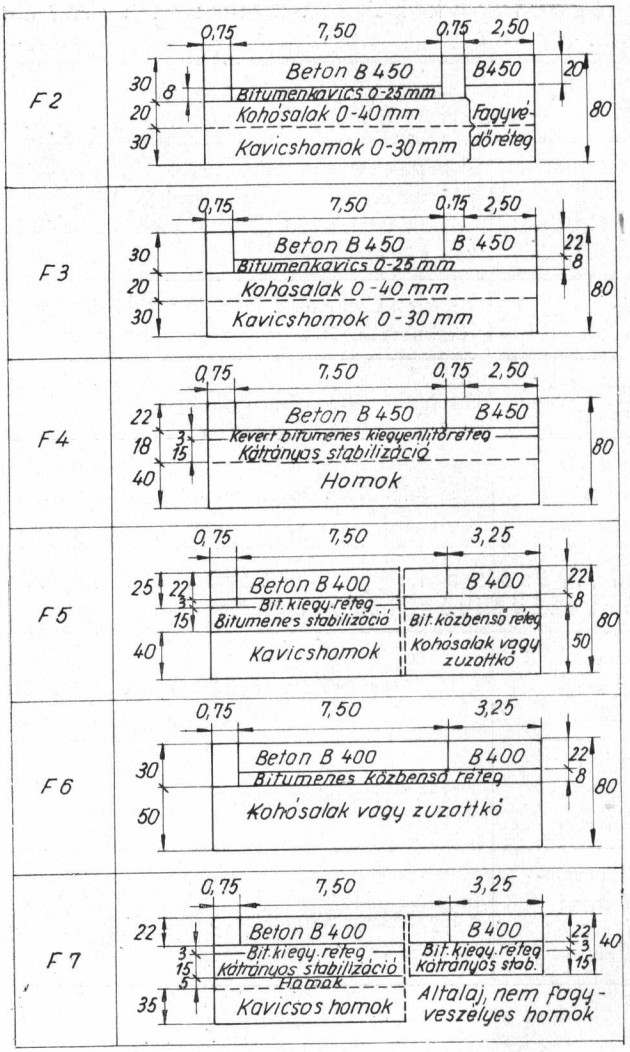
A fenti példák mind nagyforgalmú utak, autópályák merev pályaszerkezetei. Kisforgalmú utak betonburkolataival a 531. oldalon foglalkozunk.

7.4.2. Betonburkolatok alapja

7.4.2.1. Az alaprétegek fajtái

A betonlemez lényegében egyesíti önmagában a kopóréteg és a burkolatalap feladatát, ha a hajlékony pályaszerkezetekkel hasonlítjuk össze. Ezért elvileg fektethető volna közvetlenül a fagyveszély, olvadási kár, térfogatváltozás szempontjából megvizsgált és megfelelőnek minősített *talajra* is. Valóban, egy időben több száz km hosszban épültek hazánkban is olcsó „földrehelyezett betonburkolatok". Egyedül teherbíróképesség, ágyazási tényező szempontjából ez kielégítő megoldás is lehetne igen sok esetben. Ennek ellenére több más ok miatt (szivattyúzó hatás, építési forgalom stb.) az utóbbi évtizedekben már majdnem mindig *alapréteget* alkalmaznak a betonlemez alatt. Ha a betonburkolat anyagát a tükörben szállítják a beépítés helyére, és nem az oldalsó sávban, akkor *az alapot mint hajlékony pályaszerkezetet az építési forgalomra kell méretezni.* Az alapréteg a régebben alkalmazott hengerelt zúzottkőréteg helyett ma gazdaságosabb és műszakilag is helyesebb megoldással *helyi anyagok felhasználásával* készül. Az alapréteg elterjedt legfontosabb kialakítási lehetőségei a következők:

a) *Hengerelt zúzottkő* alap a mai korszerű felfogás szerint nem alkalmas betonburkolat alapozására, mert annak ellenére, hogy költséges a nagy hézagtartalma miatt utótömörödő jellegű, alatta még külön szemcsés védőréteget is kí-



7-29. ábra. A Ruhr-vidék—Hannover—Bremen közötti „Hansalinie" autópályaszakasz jellemző merev pályaszerkezetei

ván, és a vele létrehozható ágyazási tényező a magas költség ellenére viszonylag alacsony.

b) *Homokos kavicsréteg alapot* sokszor alkalmaznak, főleg külföldön. Jól teljesítette a védelmet a fagy, olvadási károk, térfogatváltozás ellen, viszont ha valóban fagyveszélytelen anyagból készült, akkor sokszor nehezen volt tömöríthető, és az elérhető ágyazási tényező elég alacsony maradt. Emellett az építési forgalmat a tükör kedvezőtlen kerékfelvágása mellett tudták csak létrehozni. A szivattyúzó, pumping hatást igen nehéz forgalom esetén nem tudta megakadályozni. Ha az építési forgalom nem a tükörben halad, ma is sok helyen eredménnyel alkalmazzák.

c) *Mechanikai stabilizációs* alap igen kedvező eredményeket adott, ha a szükséges anyag viszonylag közel volt beszerezhető. A jó szemeloszlást adó, optimális víztartalom mellett behengerelt, tömör 15...20 cm vastag mechanikai stabilizáció száraz időben jó építés alatti útpályát és jó teherbíró-képességet adott, azonban hátrányos a vízérzékenysége. Akár építés előtt a csapadék, akár a kész beton alá bejutó víz a kötött, finomszemcsés talajrészt fellazíthatja, ezért csak akkor alkalmazható, ha a víz távoltartását jól meg lehet oldani. Alkalmazása tehát gondos mérlegelést kíván.

d) *Sovány betonalap.* (B-250) Helyi adalékanyagból Franciaországban és Kelet-Németországban alkalmazták leginkább. Újabban Kelet-Németországban eltértek az alkalmazásától. Túl merev, rugalmatlan volta miatt a merev betonalap a vibrációból adódó rezgéseket visszaveri a felette elterített betonréteg finiserrel való bedolgozása során, és ezzel fellazítja a már betömörített útburkolati betonréteget. Az NDK tapasztalata szerint a betonalap felett készült betonútburkolatok betonja sokszor igen alacsony szilárdsági értékeket mutatott. A *B-100* minőségnél kisebb szilárdságú igen sovány „betonalap" (inkább keverőtelepen készült cementstabilizáció homokos kavicsból) már nem mutat ilyen hátrányokat, Franciaországban erősen elterjedt.

e) *Cementstabilizációs vagy bitumenes stabilizációs* alap már kedvezőbb és jól bevált megoldás volt. Gazdaságos volta mellett kielégítő teherbíró-képességet adott, megfelelt védőrétegként is, a nedvességtől nem puhult fel, és bizonyos szigetelést is adott. Különös előnye, hogy a táblaréteg szivattyúzó (pumping) hatásának teljes mértékben elejét veszi. Hátránya talán, hogy ha hosszabb szakaszon az építés alatti forgalom erős, akkor a stabilizáció felülete megbomlik, és egyenetlen lesz, ezért sokszor kell javítani.

f) *Stabilizált talajrétegen bitumenes kavics vagy bitumenes homok* jelenleg mint betonburkolat-alap igen elterjedt a nagyterhelésű, nagyforgalmú utak, autópályák esetén. Az alsó réteg a földmű talajának vagy a közelben beszerezhető anyagnak megfelelő cementes vagy bitumenes, esetleg mechanikai vagy meszes stabilizációja 15...18 cm rétegben. Erre egy vagy két rétegben aszfaltkeverő-telepen meleg eljárással kevert U-30 jelű meleg bitumenes útalapot, azaz bitumenes kavicsot terítenek el és hengerelnek be. A kevert bitumenes anyag tömör vastagsága 5 cm körüli szokott lenni. Ezzel valójában egy szinte önálló hajlékony pályaszerkezetet hozunk létre, amelynek igen jelentős teherbíró-képessége van, magas *C* ágyazási tényezővel, és amely — esetleg több éves — igen élénk és nehéz építési forgalom lebonyolítását is lehetővé teszi a felület megbomlása vagy hullámosodása nélkül. A szivattyúzó, pumping hatás teljesen ki van zárva, és emellett igen előnyös a bitumenes kavicsréteg szigetelő hatása. Ez fontos a betonlemez kötése idején, mert a hidratációhoz szükséges vizet nem engedi lefelé elszivárogni a betonból, emellett az esetleges alulról jövő vizeket, talajvizet — amely pl. agresszív, szulfátos is lehet — szintén távol tudja tartani a betonlemeztől. A teljes szerkezet magassága már olyan nagy, hogy védelmet nyújt a fagykár, olvadási kár, térfogatváltozás ellen, különösen azért is, mert a felülről és alulról jövő vizek útját igen nagy mértékben elzárja.

A betonlemez alatti alaprétegek alkalmazásának fő okai tehát a következők:

1. Szivattyúzó (pumping) hatás megelőzése.
2. Építés alatti forgalom lebonyolítása.
3. Alsó síkfelületű, vízzáró szigetelőréteg létesítése.
4. Talaj teherbíró-képességének fokozása.
5. Fagykárok, olvadási károk, térfogatváltozás elleni védelem.

7.4.2.2. Az alapréteg alkalmazásának szerkezeti, kivitelezési okai

A szivattyúzó (pumping) hatás főleg a terjeszkedő és vasalatlan hézagoknál, kisebb mértékben a vasalt látszathézagoknál és a táblaszélen fordul elő, ha az alap vagy a talaj anyaga közvetlenül a *betonlemez alatt finomabb szemcséket* is tartalmaz stabilizálás, kötés nélkül. A hézagokon és a padkán át bizonyos mennyiségű *víz bejut a lemez alá*. A nehéz terhelés alatt a lemez széle kissé lehajlik, és különösen a hézagon való kerékáthaladások alkalmával az egyes táblavégek között egyenlőtlen (bár tized mm nagyságrendű) lehajlások keletkeznek. Ezek az ismétlődő rugalmas táblalehajlások a nem kötött finom szemcsés ágyazati anyagot a hézagok és szél mellett *erősebben tömörítik*, és ezzel a legkedvezőtlenebb helyen *kissé aláüregelik a lemezt*. Ezután a további táblamozgások *szivattyúzásszerűen „pumpálják" felfelé* a hézagokon és a lemezszélen a vízzel felpuhított és kevert finomszemcsés talajrészt. A lemezszél alatt az aláüregelés tehát fokozódik, a lemez alátámasztása egyenlőtlen lesz vagy szakaszosan meg is szűnik. Így a nehéz járművek terhelése alatt a betontábla megrepedezik, és a burkolat jóval hamarabb megy tönkre.

A szivattyúzó hatás létrejötte három fő feltételhez van kötve:

nehéz és sűrű forgalom + finom szemcsés ágyazat + víz bejutása.

A szivattyúzási hatás jól megelőzhető nehéz és sűrű forgalom mellett is, ha nem túl finom szemcsés ágyazatot alkalmazunk (pl. ahol a 0,1 mm alatti szemcsenagyságok 50% alatt fordulnak elő). A legmegbízhatóbb a stabilizáció vagy a kevert bitumenes kavics alkalmazása. Ilyenkor az utótömörödés és aláüregelés eleve nem jöhet létre.

Megemlítjük, hogy stabilizált alapréteg felett régebben 1...2 cm vastag homokréteget alkalmaztak nálunk, hogy teljesen sík alsó lemezfelületet (finom tükröt) és kismértékű súrlódást hozzanak létre a lemez alatt. Ha ezen homokrétegben az apró szemnagyságok aránya és az iszapszennyeződés nagy volt, akkor a szivattyúzó hatás a lejjebb meglevő stabilizálás ellenére is jelentkezett. Ezért is előnyösebb a vékony homokréteg helyett — bár költségesebb — *a bitumenes*

homok alkalmazása a finom tükör kialakításakor is a lemez alatt.

A betonlemez hézagainak kialakítása, fajtája is befolyásolja a szivattyúzó hatást, amely a terjeszkedési hézagoknál a legnagyobb. Ezzel szemben a sűrűn következő, 5...6 m-enkénti alig felnyíló látszathézagok a szivattyúzási veszélyt erősen csökkentik.

Az építés alatti forgalom hazánkban a legtöbb esetben magán az épülő út földmunkáján levő alaprétegen bonyolódik le. A nehéz tehergépkocsik hosszú sora sok km-en át ezen keresztül szállítja a beépítő, bedolgozó géplánchoz akár a kész betont (ha központi keverőtelepen keverik), akár a beton-adalékanyagokat és a cementet (ha mint régebben, helyszínen kevert betont építenek be). Ennek a nehéz építési forgalomnak a lebonyolítására tehát akkor is szükséges a teherbíró alapréteg, ha még a földmű a nagy teherelosztó hatású betonlemez alá esetleg elég nagy ágyazási tényezőt is adna száraz állapotban. Az építési forgalom esős időben a földművet ágyazat nélkül általában erősen bevágná, vízzel összedolgozná és felpuhítaná. Az alapréteg ezt megelőzi, és létrehozza az időjárástól függetlenebb építési forgalmat. A legelőnyösebb ilyenkor természetesen a kevert bitumenes kavics, stabilizált alapon. El kell azonban azt is kerülni, hogy *csak az építési forgalom miatt túl költséges megoldásokat alkalmazzunk* a betonburkolat alapjánál. Így pl. az ilyenkor alkalmazott bitumenes kavics adalékanyagánál indokoltan lehet bizonyos minőségi engedményeket alkalmazni. Így nagyobb, 12...16%-os szabad hézagot (vízfelvételt) is meg lehet tűrni a behengerlés után. A betonburkolat alatti bitumenes kavics alap teherbíró-képessége kisebb lehet, mint az aszfaltburkolat alatti bitumenes alaprétegé, de bírja el jól és nagyobb alakváltozás nélkül az építési forgalmat, és később ne eredményezzen utólagos tömörödést.

Mindenesetre a betonburkolat alapjaként szolgáló bitumenes homok vagy kavicsnál annál jobb minőségre, kisebb szabad hézagra (kisebb vízfelvételre) kell törekedni, minél inkább valószínű, hogy egy vagy több téli időszakot is meg kell érnie az ideiglenes burkolatnak a beton beépítése előtt. A túl nagy szabad hézag ugyanis télen a bitumenes kavics vagy homokréteg szétfagyását és a tavaszi építési forgalom alatti rongálódását is okozhatja.

Alsó, teljesen sík felületű *vízzáró-*, *szigetelőréteg létesítése* régebben nem volt nálunk követelmény. A sík felületet ugyan pár cm-es homokréteggel az alap felett hozták létre, azonban lefelé szigetelő hatás nem volt. Külföldön, főleg Németországban azonban az alap felett *kátránypapír* vagy *bitumenes papír*, legutóbb polietilén-fólia réteget terítenek le gépesítve a kavicsos homok alap fölé, a betonlemez alá. Ennek előnyét a beton kötése alatti időben a víz lefelé való elszivárgásának megakadályozásában látják. Emellett a kis súrlódású, teljesen sík alsó betonlemez-felület kiképzését is elősegítette a lefektetett papírréteg. A hengerelt bitumenes homokréteg mint az alap felső rétege, feleslegessé tette a kátránypapír alkalmazását, mert mind a beton kötés alatti hátrányos vízelszivárgást megakadályozza, mind pedig az esetleg alulról jövő agresszív talajvizektől is sikeresen megvédi a betonlemezt. Természetesen ezért is törekedni kell arra, hogy a bitumenes homok vagy kavics keverésekor alkalmazott adalékanyag eléggé kedvező szemeloszlású legyen, s az aszfalt szabad hézaga, vízfelvétele ne legyen olyan nagy, hogy a vízátszivárgást lehetővé tegye.

7.4.2.3. Az alapréteg alkalmazásának teherbíró-képességi követelményei

Az előzőekből látható, hogy az alaprétegre igen sokszor csak szerkezeti, kivitelezési okokból is szükség lehet. Ha az altalaj, földmű anyaga kis teherbírású, kötött, fagyveszélyes vagy térfogatváltozó anyag, akkor az alap az előző okokon kívül még teherbíró-képességnövelési okokból is szükséges. Ilyenkor tehát a C (kp/cm³) ágyazási tényező szükséges nagyságát kell létrehoznia az alapnak.

Az alapréteg teherbíró-képességnövelő jelentőségét azonban nem szabad túlbecsülni. A betonlemez erőjátékának részletes tárgyalásakor láttuk, hogy a C ágyazási tényező befolyása az egész betonburkolat teherbírásának és élettartamának a fokozására csak igen szerény mértékű, különösen a $C = 6...8$ kp/cm³ érték felett. Ez az érték pedig egy „megfelelő"-nek minősíthető altalajban már előfordul, és a $CBR = 8...10\%$, $E_2 = 400...500$ kp/cm² teherbíró-képességi jellemzőkkel egyenértékű. Ilyen és ennél jobb altalajok esetén az alapréteg építésének csak szerkezeti, kivitelezési oka lehet az előző pontban írtak szerint. Ezért a merev pályaszerkezeteknek, a betonburkolatoknak éppen a lényegét és fő tulajdonságát nem látnánk meg, ha úgy gondolnánk, hogy a betonburkolat vastagságát vagy még inkább a betonlemez hiányos minőségét, alacsony hajlítási húzószilárdságát pótolni, és egészségesen ellensúlyozni lehet az alsó alapréteg vastagításával, annak költségesebb építésével, a C ágyazási tényező erőltetett emelésével. Erre gyakorlatilag nincs meg a lehetőség, és így *pl. betonlemez hiányos vastagságát, elégtelen húzószilárdságát nem lehet az alapréteg vastagításával vagy minőségjavításával eredményesen és gazdaságosan ellensúlyozni.*

a) Jellemző, hogy az *észak-amerikai* gyakorlatban általában *igen alacsony* ágyazati tényezőjű alaprétegeket alkalmaznak. *Kelley* szerint [15]:

gyengébb minőségű alapoknál:

$C = 50$ font/hüvelyk³ $= 1{,}4$ kp/cm³.

Általános használatra figyelembe vehető:

$C = 100$ font/hüvelyk³ $= 2{,}8$ kp/cm³.

Igen jó alap esetén:

$C = 300$ font/hüvelyk³ $= 8{,}3$ kp/cm³.

Szélső maximális érték:

$C = 700$ font/hüvelyk$^3 = 19{,}4$ kp/cm^3.

Emlékeztetünk arra, hogy az 1960-ban az AASHO útkísérletekben a betonburkolatok alapjainál szintén $C = 2...3$ kp/cm^3 értékeket mértek.

b) A másik végletet a német (NSZK) előírások jelentik, ahol *igen magas ágyazási* együtthatókat követelnek meg. A német földmunka előírások az előbbiek szerint ilyenkor is az E_2 kp/cm^2 rugalmassági modulust írják elő a földmű és az alap felső síkjára. Az E_2 és a C teherbíróképességi tényezők között közelítő összefüggés van.

A német előírásokat így átszámítva a földmunkatükör síkján:

a) kötött talaj esetén:

$E_2 = 450$ kp/cm^2, azaz $C = 6$ kp/cm^3 körül;

b) szemcsés talaj esetén:

$E_2 = 1200$ kp/cm^2, azaz $C = 16$ kp/cm^3 körül;

Fagyvédő réteg felső síkján:

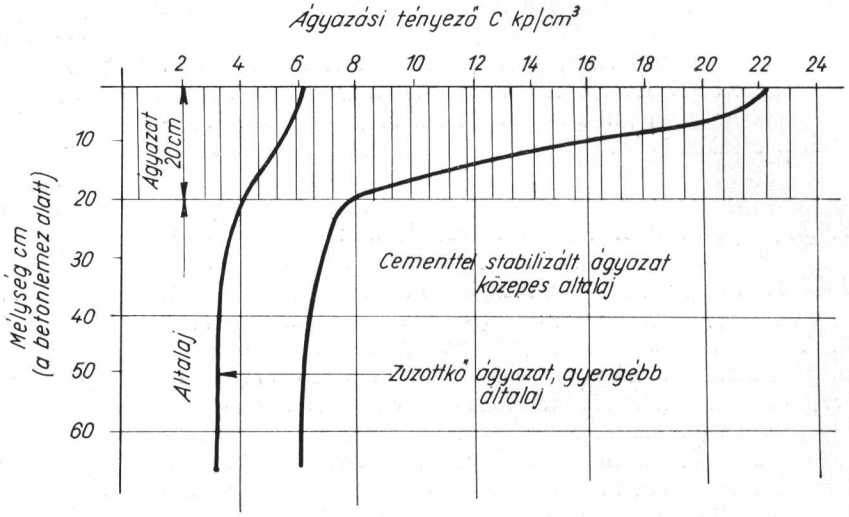
$E_2 = 1200$ kp/cm^2, azaz $C = 16$ kp/cm^3 körül.

Ezek igen magas értékek, igen hatékony tömörítést és jó anyagokat kívánnak meg a földműtől. Érthető, hogy az előírás ezenkívül már semmi más megkötést nem tesz a betonburkolat alatti alap minimális teherbíró-képességére. Mindenesetre megállapítható, hogy az $E_2 = 1200$ kp/cm^2, ill. $C = 16$ kp/cm^3 értékek a földmű felületén teherbíró-képességi szempontból nem indokoltak, és más államok nem is követik. Megjegyzendő, hogy a német (NSZK) szabályzatok és a gyakorlat az igen magas E_2 és C értékek mellett is viszonylag vastag betonlemezt és igen nagy, $\sigma_h = 55$ kp/cm^2 húzószilárdságú, jó minőségű betont használ.

c) Az OSZZSD (Szocialista Országok közös Útügyi Bizottságának) betonburkolatok méretezésére vonatkozó tervezetében a következő minimális értékeket írja elő (1966):

Altalaj	Szerkezeti réteg	Ágyazási tényező C kp/cm^3	
		könnyű, közepes forgalomban	nehéz, igen nehéz forgalomban
Szemcsés talaj esetén	Altalaj	min. 8	min. 8
	Ágyazat	min. 8	min. 8
Kötött talaj esetén	Ágyazat	min. 6	min. 10

Ezek az adatok már sokkal reálisabb, könnyebben betartható értékeket mutatnak.



7-30. ábra. A teherbíró-képesség változása a mélységgel a betonburkolat alapjánál. A cementes talajstabilizáció sokkal előnyösebb, mint a nagy hézagtartalmú zúzottkő alap

d) Hazai újabb előírástervezetek szerint a megkövetelendő minimális ágyazási tényezők az ágyazás anyagát jellemző *minőségi jellemzők* is, amelyeket elsősorban a kivitelezés minőségének érdekében meg kell követelni akkor is, ha a betonlemez méretezése nem is követel meg ekkora C tényezőt. Így pl.:

Mechanikai stabilizáció:	$C_{min.} = 6$ kp/cm^3
Cementes vagy bitumenes talajstabilizáció	$C_{min.} = 8$ kp/cm^3
Kavicsos cementstabilizáció	$C_{min.} = 10$ kp/cm^3
Habarccsal kitöltött zúzottkő	$C_{min.} = 12$ kp/cm^3
Kevert bitumenes kavics vagy homok (min. 5 cm vastag) az előző ágyazati rétegek egyikén	$C_{min.} = 12$ kp/cm^3

Megjegyezzük, hogy ezen értékeket helyes kivitelezés mellett könnyen be lehet tartani, sőt sokszor nagyobb értékek adódnak. Törekedni kell azonban, hogy

$$C_{max.} = 20 \text{ kp/cm}^3$$

értéknél nagyobb ágyazási tényezőt ne létesítsünk, mert akkor az ágyazat *kedvezőtlenül túl merev* lenne, és különösen a vetemedési hőfeszültségeket és a dinamikus hatásokat szükségtelenül fokozná.

Megjegyzendő, hogy a tapasztalat szerint a régebben alkalmazott Z 45/65 vagy Z 65/100 hengerelt zúzottkő alap 20 cm-es költséges rétegével sem lehetett elérni $C = 5...$ $...6$ kp/cm^3 ágyazási tényezőnél nagyobbat, mivel a nagy kitöltetlen hézagtartalom ezt megakadályozta (7-30. ábra). Ezért

ha zúzottkőréteget alkalmaznánk, akkor feltétlenül csak mész vagy cementhabarcs kitöltéssel tömörített zúzottkőréteget, lehetőleg folytonos szemeloszlással kell alkalmazni. Sokkal gazdaságosabb és előnyösebb a zúzottkő helyett a stabilizált réteg alkalmazása, ami a 7-30. ábra szerint lényegesen magasabb C értéket is ad.

7.4.3. A betonburkolat, a betonlemez

7.4.3.1. A betonlemez vastagsága utakon

A betonburkolat vastagságát egy-egy útkategórián belül országonként általában meghatározott állandó értékeken tartják, és csak különös indokok esetén változtatják meg. A ma még nagyobbrészt használatos járósínen mozgó betonfiniserrel épülő betonburkolat esetén a lemezvastagságot a járó- és formasínek meghatározzák, ezek többszöri indokolatlan cseréje költséges és gazdaságtalan. Ezért azt látjuk, hogy egy-egy országon belül csak egy-két lemezvastagságot alkalmaznak, és azt általában alig változtatják. Csúszózsalus finiserrel ilyen technológiai—gazdasági megkötés nincs. A lemezvastagságok egy útkategórián belül a csúszózsalus finisert alkalmazó államokban (pl. Franciaország, Anglia) mégis állandóak maradtak.

Amikor a betonburkolat terhelését és hőhatás alatti viselkedését, erőjátékát vizsgáltuk, láttuk, hogy a közutakra mértékadó 5 Mp statikus terhelő keréknyomás alapulvételével nehézforgalmú úton a szükséges és optimális betonlemezvastagság 22 *cm körül* van. Az ágyazat minősége — ha megüti a szükséges előírt méreteket — gyakorlatilag alig befolyásolja a lemezvastagságot. Ezzel szemben a forgalom nagysága és jellege szerint (nem annyira max. keréksúly szerint) megkülönböztetik a vastagságokat, mivel a nagyobb, nehezebb forgalomra kedvezőbb fáradási körülményeket követelünk meg, a kisebb teherismétlődésre pedig kedvezőtlenebb fáradási körülményeket, nagyobb feszültségeket tűrhetünk meg. Így a számítások és előírások számos államban egybehangzó értékeket adnak.

a) Az Észak-amerikai Egyesült Államokban legelterjedtebb a *Portland Cement Association (PCA)* szerinti méretmegállapítás, amely a 7-3. táblázatban foglalható össze.

A számításban és tervezésben a $C = 100$ font/hüvelyk^3 = $= 2{,}7$ kp/cm^3 ágyazási tényezőt, 15 cm vastag homokos kavics ágyazatot, és $\sigma_H = 700$ font/hüvelyk$^2 \approx 50$ kp/cm^2 betonhúzószilárdságot követeltek meg.

b) Az 1963. évi német (NSZK) betonútépítési szabályzat szintén egy táblázatban, ismét a forgalomtól függően szabja meg a betonburkolat vastagságát, közölve a minimális szilárdsági értékeket és a cementszükséglet irányértékét is.

7-3. táblázat- PCA-ajánlások a betonburkolat vastagságára

Az autópálya osztálya, forgalom jellege	A betonburkolat vastagsága	
	hüvelykben	cm-ben
I. Elsőrendű pálya nagyvárosban vagy közelében	9	23
II. Elsőrendű pálya külső szakaszon, vidéki területen	8,5	21,6
III. Gyengébb forgalmú elsőrendű pálya	7,5	19
IV. Másodrendű főútvonal	7,5	19

Jellegzetes körülmény, hogy a cementszükségletnek csak „irányértéke" van megadva; ezért tehát nem a cementadagolás nagysága van kötelezően megszabva, hanem az elérendő beton-nyomó és húzószilárdság. Ezért annak elérése érdekében esetleg több cementet is kell adagolni mint az irányérték; ha viszont az adalékanyag és a cement olyan kiváló minőségű, hogy kisebb cementadagolás is létrehozza *egyenletesen* a kívánt beton-húzószilárdságot, akkor ez is megengedhető (7-4. táblázat).

Az újonnan épülő nyugatnémet autópályák betonlemezvastagsága majdnem egységesen 22 cm.

c) Külön helyzetet foglalnak el bizonyos fokig *Franciaország* a *25 cm-es* betonburkolattal és *Anglia* a 10 hüvelyk$\approx$ $\approx$ *25 cm-es* betonburkolattal. Franciaország esetében elsősorban az ott engedélyezett 13 t-s rendkívül nehéz tengelysúlyok indokolják a viszonylag nagy vastagságot. Angliában az 1963. évi előírások a (nehéz tehergépkocsi/nap) átlagos napi forgalom 20 évvel előrebecsült értéke szerint hat forgalmi kategóriában szabja meg a vastagságokat, három fokozattal az altalaj minőségét is figyelembe véve (7-5. táblázat).

d) Hazai, magyarországi betonburkolat-méretezési külön utasításunk nincs.

Hazánkban a gyakorlat az, hogy az autópálya, gyorsforgalmi út építéséhez alkalmazott betonburkolatok 1971-ig 22, utána 24 cm vastagsággal épültek, formasínes rendszerű finiserrel. Kisforgalmú mezőgazdasági főútvonalakon korlátozott mértékben már épülnek betonburkolatok, főleg olcsóbb helyi adalékanyaggal kevert betonnal. Ezek kisebb önjáró csúszózsalus finiserekkel készülnek, az alkalmazott lemezvastagság általában 15 cm.

7-4. táblázat. Betonburkolatok vastagsági szilárdsági és anyagelőírásai az 1963. évi nyugat német RBB irányelvek szerint

Útcsoport	Forgalom nagysága	Átlagos napi forgalom, jármű/24 h		Betonlemez vastagsága cm	Minimális érték 28 napos korban		Légpórus tartalom napi középérték %	Irányérték a cementtartalomra kg/m³	Szemeloszlási feltétel a 7-19. ábra határgörbéi szerint	Külön szállítandó frakciók legalább mm
		5 t raksúly felett	összesen		nyomószilárdság kp/cm²	hajlító—húzó szilárdság kp/cm²				
I. Összes autópályák, igen nehéz forgalmú utak	nagyon nehéz	1000 felett	10000 felett	22...24	400	55	3,5	350	a kedvező ábraterület alsó fele	0/3 3/7 7/15 >15
II. Nagyforgalmú külső és városi utak	nehéz	500...1000	5000...10000	20...22	400	55	3,5	350	a kedvező ábraterület alsó fele	0/3 3/7 7/15 >15
III. Közepes forgalmú utak tehergépkocsi parkolóhelyek	közepes	100...500	2000...5000	18	350	45	3,5	325	kedvező ábraterületen	0/3 3/7 >7
IV. Lakóutak, parkolóhelyek tehergépkocsi nélkül	könnyű	100 alatt	2000 alatt	16	300	40	3,5	300	felső betonrétegben kedvező, alsó réteg és kerékpárúton a feletti terület is engedhető	0/7 >7

7-5. táblázat. Angol előírások betonburkolat vastagságára, 1963 [15a]

Altalaj típusa	ÁNF 20 év múlva nehéz tehergépkocsikra					
	3000	1500... ...3000	450... ...1500	150... ...450	45... ...150	45
Nagyon szilárd altalaj (in)	9	8	7	6	5	4
cm	23	20	18	15	13	10
Normális altalaj (in)	10	9	8	7	6	5
cm	25,6	23	20	18	15	13
Egyenlőtlen, mozgásra hajlamos altalaj (in)	11	10	9	8	7	6
cm	28	25,6	23	20	18	15

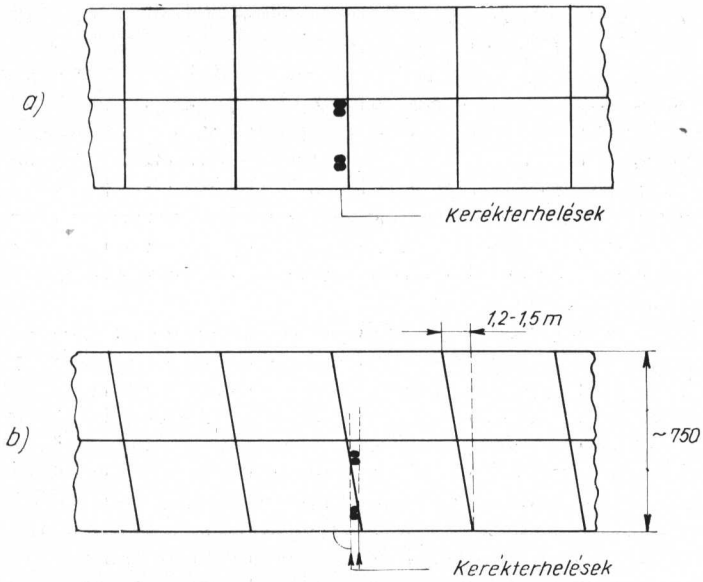
7.4.3.2. Betonburkolatok hézagainak kiképzése

A betonburkolatoknál a betonlemezt hézagokkal táblákká osztjuk annak érdekében, hogy a zsugorodás, hőmérséklet és a terhelés hatása következtében lehetőleg egyáltalán ne keletkezzenek szabálytalan repedések, amelyeket mind az optikai hatásuk, mind pedig a fenntartásuk miatt, a további rongálódások kiindulási lehetősége miatt mindenképpen meg kell előzni.

Helyzete szerint van: *hosszhézag* a 4,50...5,00 m-nél szélesebb burkolatok középvonalában, és van *kereszthézag*, amely a hosszhézagra merőlegesen (néha közel merőlegesen kissé ferdén) fut és rendszeresen ismétlődik.

Funkció szerint van:

a) *Zsugorodási* hézag (másnéven *vakhézag* vagy *látszathézag*), amely csak összehúzódást enged meg. Eredetileg az építéskor csak felső keresztmetszet-gyöngítést állítanak elő,



7-31a ábra. Hosszhézag és kereszthézagok: *a)* szokásos derékszögű elrendezés; *b)* a kissé ferde hézagok előnye a kedvezőbb terhelésátmenet

és a betonlemez teljes átrepedése csak később, a húzófeszültségek hatására következik be. Ezek kiképzése általában egyszerűbb, és a felületi tulajdonságokat kevésbé veszélyezteti.

b) *Terjeszkedési hézag* esetén már az építéskor teljes keresztmetszetben elválasztjuk a betonlemez két részét, és a hézagban olyan kitöltő elmeket (puhafalemez, kiöntőanyag stb.) alkalmazunk, amelyek összenyomhatók, és így a betontábla terjeszkedő mozgását, tehát az eredetileg kb. 20 mm-es hézag szűkülését is lehetővé teszik. A terjeszkedési hézag kiképzése nehézkes és költségesebb, amellett sokszor jelentős felületi hibák forrása.

c) *Munkahézag* vagy *szoros hézag* szintén teljes keresztmetszetben választja el a betonlemez két részét, azonban ennek célja nem a terjeszkedés lehetővé tétele, hanem egy már előzőleg (az előző műszakban vagy régebben) elkészült és függőleges oldalfallal bíró betonlemezhez való csatlakozás, pl. a következő műszak munkájának megindítása vagy szélesítés stb. esetén.

A *hosszhézagot* majdnem kizárólag mint *zsugorodási* hézagot (vakhézagot) építik meg. A *kereszthézagnál* is a leggyakoribb a *zsugorodási* hézagként (vakhézagként) való kiképzés, bizonyos rendszer szerint azonban *terjeszkedési* kereszthézagot is alkalmazhatnak, a műszak végén pedig *szoros* hézagot.

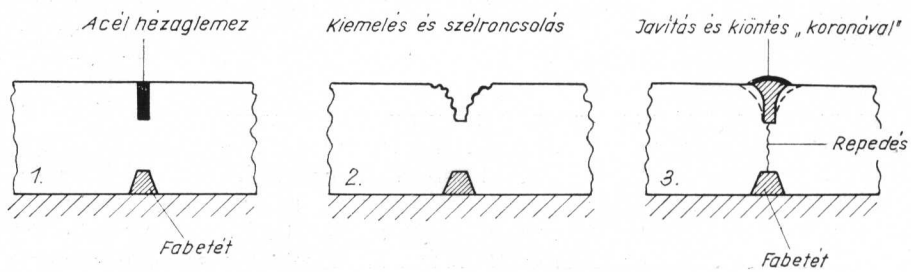
7-31b ábra. Zsugorodási hézag régi kialakítási elve hézaglemezzel

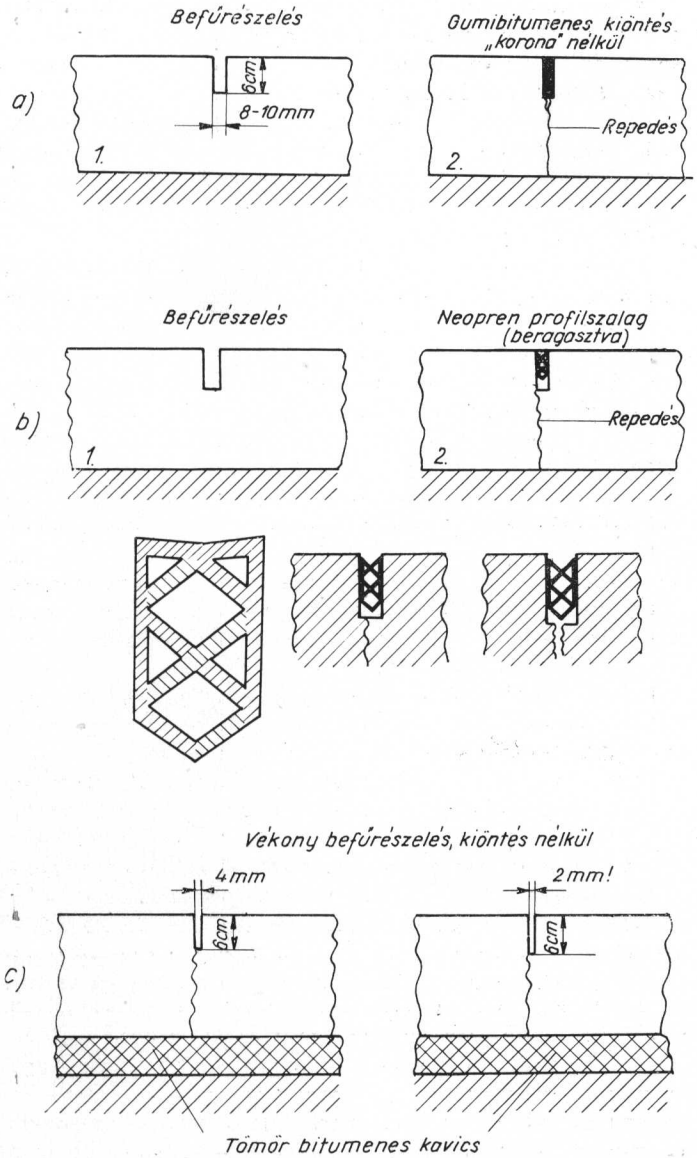
A betonburkolatok minőségét, használhatóságát és élettartamát a kivitelezett hézagok minősége nagyban befolyásolja, emellett a kivitelezést is erősen befolyásolják, nehezítik vagy könnyítik. A betonburkolatok fenntartása nagy részben főleg a hézagok fenntartásából áll. Sajnálatos tapasztalati tény, hogy a nem megfelelő módon épített és fenntartott betonburkolatok kereszthézagai gyakori ütésekkel hatnak a gépjárművekre, és ilyenkor a közepes aszfaltburkolatok felületi minőségét sokszor nem érik el.

a) *Látszathézagok kiképzése.* Az igen sokszor előforduló látszathézag (vakhézag) feladata az, hogy a betonlemez összehúzódásából, ill. vetemedéséből adódó szabálytalan repedéseknek elejét vegye, és előre megtervezett távolságokban, lehetőleg víz át nem eresztő kivitelben jelölje ki az egyenesvonalú jól fenntartható repedéseket a betonlemezben.

A látszathézagok kiképzésének régebbi megoldási elvét láthatjuk a 7-31b. ábrán. A *régi szerkezeti megoldásban (a)* alul egy fa vagy beton rúdbetétet helyeztek el, felette pedig egy-egy vékony, 10...12 mm vastag, 4...5 cm magas kiemelhető acéllemezt helyeztek el. Így a beton-keresztmetszet valóban erősen meggyengült, és a húzási, zsugorodási repedés a felső és alsó gyengítés között következett be. Ezt a megoldást jelentős hibái miatt ma már nem alkalmazzuk. Egyrészt az alsó fabetét elmozdulhat, s a repedés ferde irányú lesz. Emellett a felső, olajjal bekent acélhézaglemeznek a beton kezdeti kötése után való kivételekor óhatatlanul lereped, rongálódik a hézag széle. Ennek utólagos javítása munkaigényes és nehéz. A viszonylag széles felső hézag sok bitumenes kiöntő anyagot vesz fel, ez a lemez felületére is kinyomódik, és a felület egyenlőtlenségét fokozza, kerékütéseket okoz.

Korszerűbb megoldás a *befűrészelt látszathézag* alkalmazása (7-32. ábra). Ennél a felső acélhézaglemez elmarad, a betonozás után a megkötött betonhoz *betonhézag-vágógéppel* kb. 8...10 mm széles és 40...60 mm mély felső hézagot vágtak. A hézagvágógép lelke a korund anyagú, vagy inkább ipari gyémánt vágóélű vágókorong, amely természetesen elhasználódik és cserélendő. Az alsó gyöngítő betét a külföldi és a hazai tapasztalat szerint elmarad, a repedés mégis függőleges irányban alakul ki. Ez utóbbi esetben a befűrészelt látszathézagok kivitelezése különösen egyszerű, mert nem kell az alsó betétek eltolódásaitól vagy a jelzések eltévesztésétől tartani.





7-32. ábra. Zsugorodási hézag kialakítási elve hézagvágással: *a)* normál széles vágás gumibitumen-kiöntéssel; *b)* normál széles vágás neoprén profilszalag kitöltéssel; *c)* 4 vagy 2 mm-es keskeny vágás, a hézagot nem öntik ki

A hézagfűrészelés *nagy előnye*, hogy egyszerű, a hézagok széle teljesen egészséges, a burkolatfelület sík marad, utómunkát nem kíván. *Hátránya*, hogy a korong- és energiafelhasználás miatt elég költséges. A bitumenes kiöntés szükségessége megmarad. A hézagvágásos rendszer nagy kockázata főleg a *zsugorodási repedések* fellépésének veszélyében van. Kellő gépparkkal (min. kb. 50%-nyi nagyságú tartalékgépekkel), jó szervezéssel feltétlenül meg kell oldani a hézagvágás párhuzamos haladását a betonozással, kb. 1/2—1 napos eltolódással. A túl korai vágáskor a meg nem kötött beton roncsolódhat, és bazaltszemek ugorhatnak ki. Az elkésett hézagvágás előtt a beton zsugorodása miatt már káros *vadrepedések* alakulhatnak ki a betonlemezben. Hazánkban jelenleg csak gépi hézagfűrészeléssel készítik a látszathézagokat, és ha idejében készítik, jó eredménnyel. Számos esetben keletkeztek vadrepedések akkor is, amikor a vágás előírás szerint nem késett el.

A hézagvágás helyes időpontjának megállapítása igen kényes kérdés. Valójában ugyanis a beton megszilárdulása és kötése alatt egy versenyfutás van a betonszilárdság időbeli növekedése és a beton kötésekor elkerülhetetlenül előálló zsugorodási húzófeszültségek növekedése között. A hazai új gyakorlatunk szerint a betonozás után 12 óra és 36 óra (1/2—1,5 nap) között kell a hézagokat bevágni. (Lásd még a kivitelezésnél a végrehajtási szempontokat a 521. oldalon.)

A hézagkiöntés célja az, hogy az átrepedt hézagon keresztül a csapadékvíz ne juthasson a burkolat alá. A ma legszokásosabb megoldás az, hogy a hézagokat *gumibitumennel* kiöntik. Másik korszerűbb és jóval tartósabb megoldás, hogy a hézagokat *neoprén idomszalaggal* ragasztva kitöltik, amit már több országban, főleg Svájcban alkalmaznak. A nagyobb költség mellett előnyös, hogy a neoprén idomszalag követi a hézag változását a szigetelő hatás csökkenése nélkül, és tartósságát 10 évre garantálják.

A hézagfűrészeléses rendszer egy újabb jelentős fejlődését jelenti az Ausztriában alkalmazott hézagkiöntés nélküli módszer (Springenschmid, Wrana, [46, 47]), amely szerint a 7-32. ábrán láthatóan egy csak 4 mm (újabban néhol 2 mm!) vékony és 6 cm mély befűrészelést hajtanak végre igen korszerű, vékony gyémántkoszorús vágóelemmel dolgozó hézagvágógéppel. Ezen eljárásnak két nagy előnye van: az igen vékony hézagokat *nem kell kiönteni kiöntőanyaggal*, ami fenntartási és utazáskényelmi szempontból is előnyös, másrészt a vágási sebesség jóval nagyobb, a különben drágább vékony gyémántkorong ellenére a hézagvágás fajlagos költsége 1 m hosszra vetítve olcsóbb.

Természetesen, ezt az előnyös módszert csak a következő feltételek mellett szabad alkalmazni: a hézagok jelentősebb megnyílása nem várható (tehát csak zsugorodási hézagot alkalmaznak terjeszkedési hézagok nélkül), másrészt a betonburkolat egy kellően tömör és vízzáró bitumenes kavics, ill. bitumenes homok alapra fekszik, amely maga is jól szigetel.

A hézagfűrészelés mellett a másik korszerű megoldási rendszer a *hézagok bevibrálása* (7-33. ábra), főleg a számos külföldi országban (USA, Franciaország, Anglia, NDK stb.) jó eredménnyel alkalmazzák.

Ennél az eljárásnál azonnal a beton bedolgozása után, a friss betonlemez felett állványon, csigákon felfüggesztett, vibrátoros 4...5 mm vékony lemezzel vibrálják a betonba



7.1 kép. A gyémántkoszorús vágókorong 6 cm mély, 4 mm széles látszathézagot vág. A betonfelületen még a védőfilm maradványai láthatók, ez a forgalom alatt hamar eltűnik

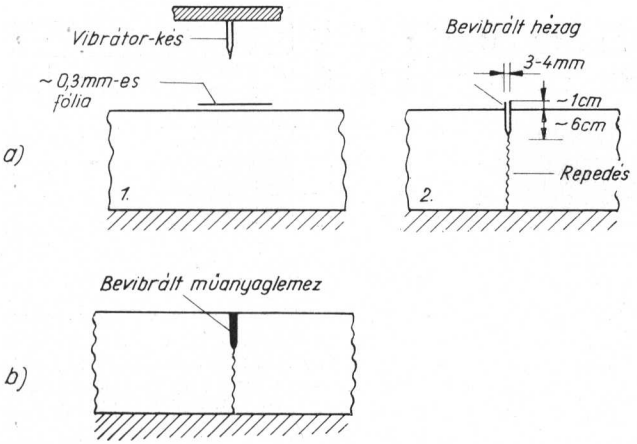


7.2 kép. Betonburkolatban *bevibrált műanyag-fóliával kiképzett látszathézagok* egy NDK-beli betonburkolattal végzett autópálya-rekonstrukciónál. A hézag egyenes és kiöntés nélküli. Az ábrán a kiálló fóliacsík árnyéka látható jól. A fólia kiálló részét a forgalom elkoptatja

a kb. 5 cm mély látszathézagot úgy, hogy a vibrátorlemez egyúttal egy 0,3 mm vékony polietilén fóliacsíkot is bevibrál a betonba. A fólia a vibrátorlemez kihúzása után visszamarad, szigeteli víz ellen a hézagot, és így a bitumenes kiöntőanyag alkalmazása is elmaradhat. Ezzel a felület egyenletessége is jobb, és a fenntartás munkaigénye is kisebb. Nagy előny emellett az is, hogy a hatékony látszathézag már az építéssel egyidejűleg a géplánc munkáján belül elkészül, és így *a zsugorodási vadrepedések megjelenése ellen teljes a biztonság*, az utólag fűrészelt hézagok esetével ellentétben.

Hazánkban ezt az igen korszerű biztonságos és gazdaságos módszert eddig nem alkalmazták, részben azért, mert a vibrátoros vágóélberendezés nem állt rendelkezésre, másrészt azért is, mert a régebben alkalmazott merev, habarcsszegény, nagyszemű adalékban gazdag friss betonban a hézagbevibrálás nem lett volna kivihető. A mai habarcsdúsabb hazai betonnál már nem volna ilyen akadály.

A bevibrált hézagok hátrányos oldala abban van, hogy ha a vágóél széles (8...10 mm), akkor a friss betonba való behatoláskor kétoldalt betonfelnyomódást okoz, s ez a felületi egyenletességet rontja. A tapasztalat szerint ezt úgy előzik meg több államban (NDK-betonútszabvány 1967), hogy részben vékony vágóélt alkalmaznak, a betonfiniser és a független utánsimító-vibrátor között alkalmazva. Az utánsimító vibrátor a már bevibrált, fóliával ellátott hézag felett átmegy, az esetleges kis egyenetlenségeket megszünteti. Mivel a fólia kb. 1...2 cm hosszban a hézagból kiállva lesimult, az utánsimító elhaladása után a vékony hézag egy munkaállásról



7-33. ábra. Zsugorodási hézag kialakítási elve bevibrálással: *a)* fóliacsík bevibrálása vibrátor-késsel; *b)* merev bennmaradó műanyaglemez bevibrálása

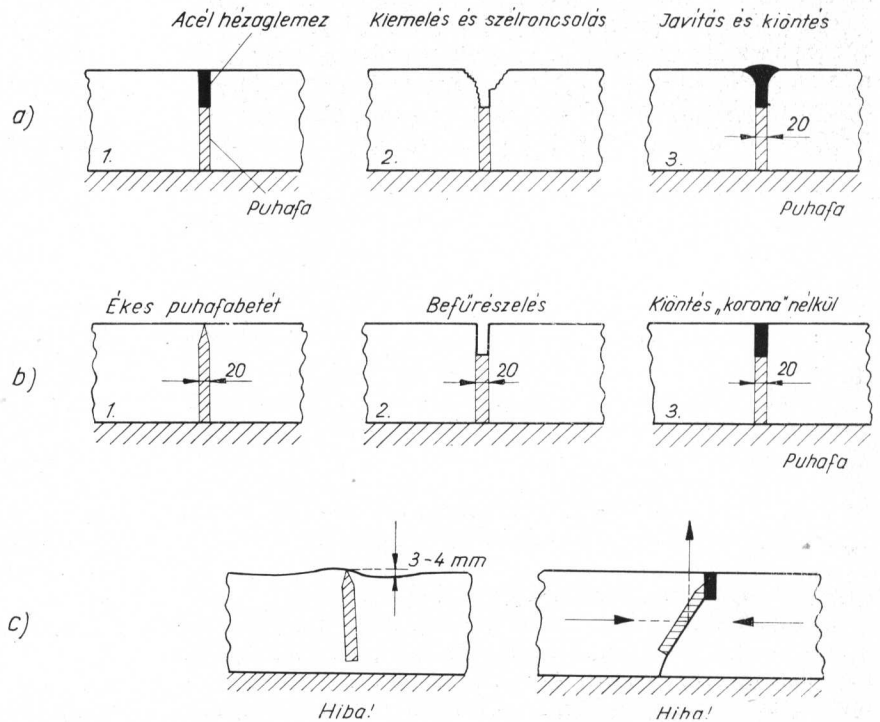
kéziszerszámmal rövid, egyszerű úton készre simítható. A zsugorodási hézagok másik eredményes és korszerű vibrációs megoldása az, amikor a finiser után a friss betonba egy végleg bennmaradó, de vékony és merev (4...5 mm vastag, 50...60 mm magas) *műanyag lemezt vibrálnak be*. A bevibrált lemez felett az utánsimító tag elhalad, sima felületet képez. A repedés létrejöttekor alig pár mm, kiöntésére nincs szükség.

Újabban Angliában a friss betonba forgó koronggal „vágott", inkább vibrált hézagokat is alkalmaznak.

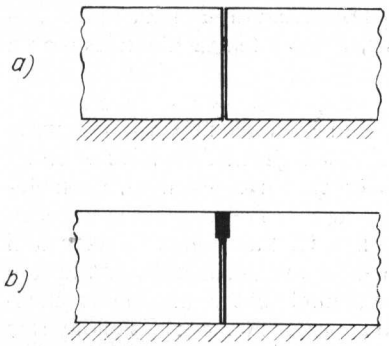
b) *Terjeszkedési hézag kiképzése.* A ma már mind ritkábban, mind nagyobb távolságonként épített terjeszkedési hézag kiképzése mindig kényes és nehézkes része volt a betonútépítésnek. A *régebbi megoldást* a 7-34. ábrán *a)* jelnél látjuk. A teljes keresztmetszeten végigmenő, kb. 15...20 mm széles hézagot egy, a formasínek közé erősített, végleg bennmaradó falemez (vagy préselt faforgács magorlemez) biztosította alul. Felül régebben ismét egy olajjal bekent acélhézaglemezt alkalmaztak, amelyet a beton kismértékű kötése után óvatosan kiemeltek. A kapott szélesebb hézagot bitumenes kiöntőanyaggal öntötték ki. Ennek a megoldásnak közismert hátránya volt, hogy a lemez kiemelésekor a lemezsarok itt is letöredezett, és azt utólag kellett kőműves munkával, rendbehozni.

Korszerűbb és kedvezőbb megoldás ennél a *b)* ábrarész szerinti *befűrészeléssel készített terjeszkedési hézag*. Ennél a bennmaradó falemez felül csúcsosan elvékonyul, de majdnem a betonlemez felső síkjáig ér. A betonhézag-vágógép korongjával később pontosan a falemez felett kétszer kell (a 20 mm szélesség miatt) hézagot vágni. Később ezt ki kell önteni kiöntőanyaggal, bitumennel. Ezt a megoldást alkalmazzák ma általában, így nálunk is. A megoldás előnye az ép, egészséges hézagszél, viszont hátrányai egyrészt ugyanazok, mint a befűrészelt látszathézagok esetén, másrészt az, hogy a túl magas falemez miatt a beton-bedolgozógép (finiser) alatt a betonfelület a *c)* ábra szerint sokszor egyenlőtlen, hullámos marad. Előfordult már nálunk is a 21. úton olyan kivitelezési hiba, hogy a betonozás közben rosszul leerősített hézaglemezek ferde állásba kerültek (*c) rész*). A nagy nyári dilatációs nyomóerők a lemezek végeinek felemelkedését, egymásracsúszását okozták a ferde síkokon.

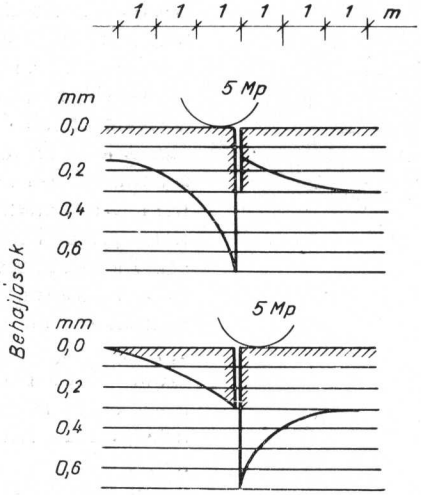
A *bevibrálást* itt is lehet alkalmazni a hézagvágás helyett. Ilyenkor azonban hátrányos, hogy széles, 20 mm-es lemezt kell bevibrálni, s ez oldalt néha kitüremkedést okoz a betonnál. Kombinálni lehet itt a bevibrálást és a hézagvágást: a bevibrálás után az utánsimítógép még egyszer átjárva, elsimítja



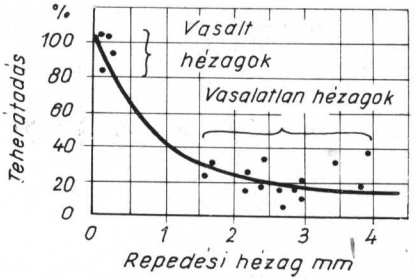
7-34. ábra. Terjeszkedési hézag kialakítási elve:
a) hézaglemez kivétele útján; *b)* befűrészeléssel;
c) a falemezbetét által okozott fő hibalehetőségek



7-35. *ábra.* Munkahézagok kialakítási elve: *a)* szoros hézag; *b)* befűrészelt és kiöntött, szigetelt megoldás



7-36. *ábra.* Régi, homokágyazatú betonburkolat vasalatlan hézagainál mért behajlások és lépcsők a teher áthaladásánál (Strunck, 1962)



7-37. *ábra.* Homokágyazaton fekvő betontáblavégek teherátadása a hézagnagyságtól függően: *a)* vasalt hézagok esetén; *b)* vasalatlan hézagok esetén (régi típusú hézagelrendezés, régi USA-mérések)

a hézag felett a betont, utána a hézagvágás már igen könnyű az előkészített, csak felül betemetett hézagon.

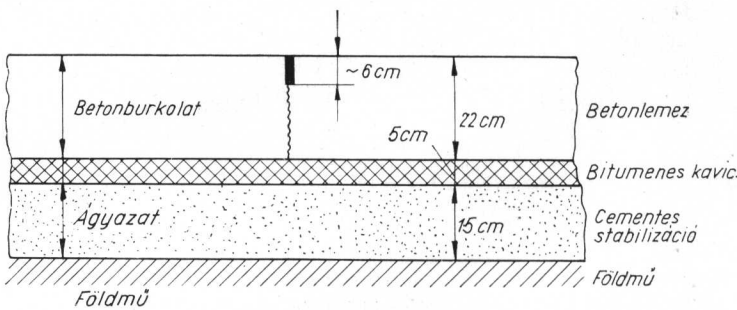
A legkedvezőbbnek és legkorszerűbbnek végül mai felfogásunk szerint az a megoldás számít, amikor a *terjeszkedési hézagot teljesen elhagyjuk vagy minimumra ritkítjuk.*

c) *Munkahézag (szoros hézag) kiképzése* a legegyszerűbb. Többnyire műszak végén, ill. kezdéskor fordul elő vagy pedig már meglevő betonburkolathoz való hozzáépítésnél. Pl. két sávban (3,50...3,75 m széles sávokban) való betonozáskor a második sávnál a hosszhézag szoros hézag lehet. Pályaszélesítéskor a szabványos 7,00...7,50 burkolatszélességen felüli szélesítés betoncsíkjának csatlakozása éppen úgy, mint a vezetősáv csatlakozása a betonburkolathoz, mind szoros hézaggal megy végbe. A 7-35. ábra szerint a betonozást függőleges fallal fejezik be. A folytatásban ezt a függőleges határoló betonfelületet bitumenes kenéssel látják el, s a friss betont teljesen szorosan, hézag nélkül dolgozzák be. A munkahézag dilatáció szempontjából látszathézagnak felel meg. Néha a jobb vízzárás érdekében hézagvágógéppel 4...8 mm széles, 40 mm mély hézagot vágnak, hogy azt gumibitumennel kiönthessék.

7.4.3.3. Teherátadódás létrehozása a hézagoknál teherátadó acélbetétekkel és anélkül

Régebben a lemezek közötti teherátadódásra sem a zsugorodási, sem a terjeszkedési hézagoknál nem fordítottak különös gondot még a gyenge minőségű alapok esetén sem. Ennek megfelelően bizonyos idő — mindenesetre hosszú évek — múlva táblavéglehajlások kiüregelődés, szivattyúzási hatás, lépcsőképződés lett az eredmény, ami a betonburkolat használhatóságát és élettartamát igen károsan befolyásolta. Igen jellemzőek azok a *Strunck* által, a régi német autópályák betonburkolatain végzett mérések, amelyek a 7-36. ábra szerint a teheráthaladás alatti erős lépcsőképződést jól mutatják. Amerikai mérések szerint nem kötött homokos kavics alapon fekvő betonburkolatnál viszont a 7-37. ábrán szemléltetett diagramot eredményezték; e szerint a teherátadódás a vasbetétekkel ellátott hézagoknál 90...100%-os, amíg a teherátadó vasbetétek nélküli, 1,5...4,00 mm-re nyílt látszathézagoknál 20% körül szóródik, ami igen kedvezőtlen érték.

a) Zsugorodási hézagok kiképzése teherátadódás szempontjából. A lépcsőképződés megelőzése teherátadó vasbetétek nélkül is lehetséges zsugorodási hézagoknál *elegendő stabilitású és szilárdságú kötőanyaggal kötött ágyazat* esetén (7-38. ábra). Ekkor ugyanis a szivattyúzódás, aláüregelés nem



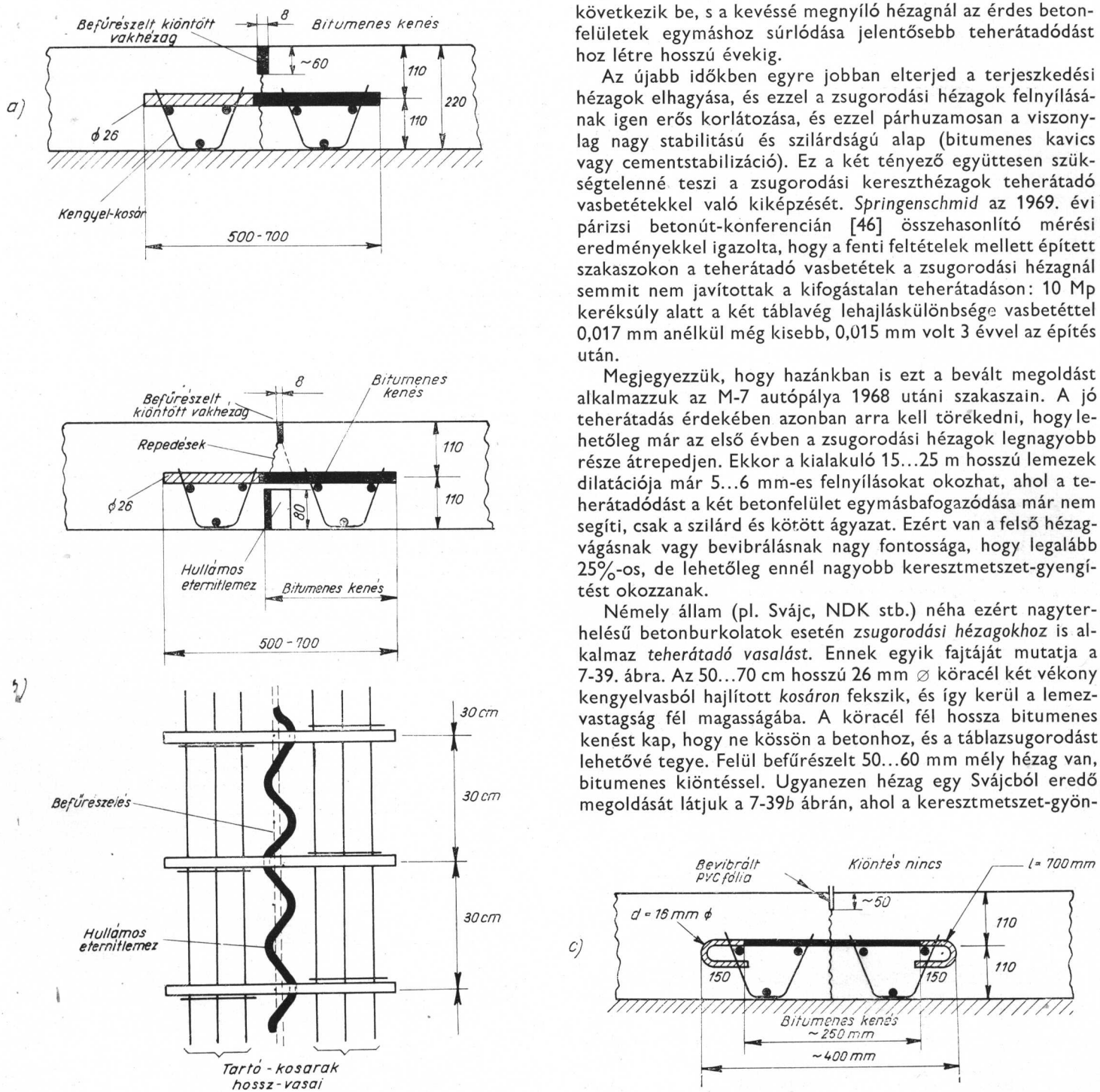
7-38. *ábra.* Zsugorodási hézag kialakítása. A stabilizált ágyazat a teherátadás a hézagvasalás nélkül is kedvezően, lépcsők nélkül létrehozható

következik be, s a kevéssé megnyíló hézagnál az érdes betonfelületek egymáshoz súrlódása jelentősebb teherátadódást hoz létre hosszú évekig.

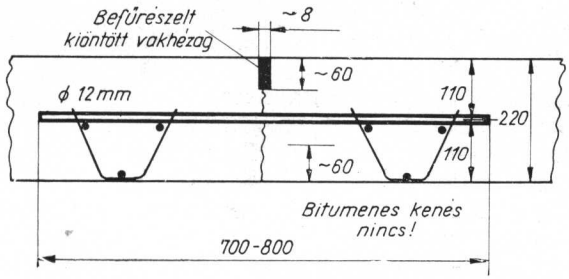
Az újabb időkben egyre jobban elterjed a terjeszkedési hézagok elhagyása, és ezzel a zsugorodási hézagok felnyílásának igen erős korlátozása, és ezzel párhuzamosan a viszonylag nagy stabilitású és szilárdságú alap (bitumenes kavics vagy cementstabilizáció). Ez a két tényező együttesen szükségtelenné teszi a zsugorodási kereszthézagok teherátadó vasbetétekkel való kiképzését. *Springenschmid* az 1969. évi párizsi betonút-konferencián [46] összehasonlító mérési eredményekkel igazolta, hogy a fenti feltételek mellett épített szakaszokon a teherátadó vasbetétek a zsugorodási hézagnál semmit nem javítottak a kifogástalan teherátadáson: 10 Mp keréksúly alatt a két táblavég lehajláskülönbsége vasbetéttel 0,017 mm anélkül még kisebb, 0,015 mm volt 3 évvel az építés után.

Megjegyezzük, hogy hazánkban is ezt a bevált megoldást alkalmazzuk az M-7 autópálya 1968 utáni szakaszain. A jó teherátadás érdekében azonban arra kell törekedni, hogy lehetőleg már az első évben a zsugorodási hézagok legnagyobb része átrepedjen. Ekkor a kialakuló 15...25 m hosszú lemezek dilatációja már 5...6 mm-es felnyílásokat okozhat, ahol a teherátadódást a két betonfelület egymásbafogazódása már nem segíti, csak a szilárd és kötött ágyazat. Ezért van a felső hézagvágásnak vagy bevibrálásnak nagy fontossága, hogy legalább 25%-os, de lehetőleg ennél nagyobb keresztmetszet-gyengítést okozzanak.

Némely állam (pl. Svájc, NDK stb.) néha ezért nagyterhelésű betonburkolatok esetén *zsugorodási hézagokhoz* is alkalmaz *teherátadó vasalást*. Ennek egyik fajtáját mutatja a 7-39. ábra. Az 50...70 cm hosszú 26 mm ∅ köracél két vékony kengyelvasból hajlított *kosáron* fekszik, és így kerül a lemezvastagság fél magasságába. A köracél fél hossza bitumenes kenést kap, hogy ne kössön a betonhoz, és a táblazsugorodást lehetővé tegye. Felül befűrészelt 50...60 mm mély hézag van, bitumenes kiöntéssel. Ugyanezen hézag egy Svájcból eredő megoldását látjuk a 7-39*b* ábrán, ahol a keresztmetszet-gyön-



7-39. ábra. Zsugorodási hézagok vasalt kialakítása: *a)* fűrészelt hézagokkal, *b)* hullámos eternitlemez-betéttel; *c)* horgonyzó acélbetétekkel, bevibrált hézaggal, hézagkiöntés nélkül



7-40. *ábra.* Hosszhézag kialakítása vasalt zsugorodási hézagként

gítést még az alul behelyezett hullámos eternitlemez is fokozza. Fontosabb itt azonban az az előny, hogy az átrepedés után a repedés felül egyenes, alul hullámvonalú, és így ferde teherátadó, egymásnak támaszkodó betonfelületek is vannak.

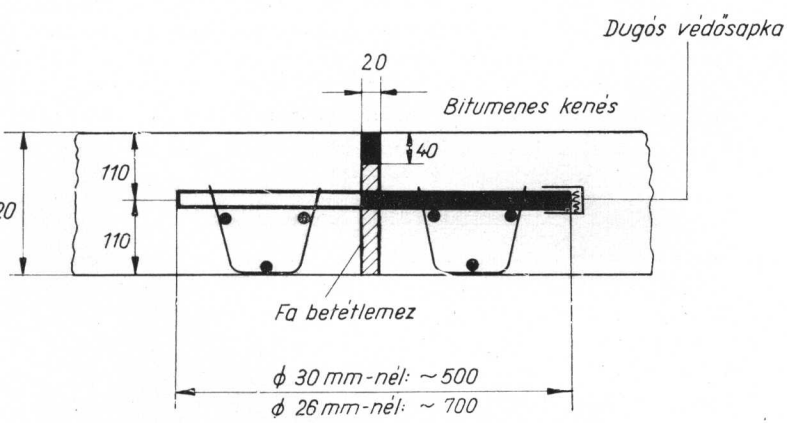
Horganyzott acélbetétes zsugorodási kereszthézagot mutat be a 7-39c ábra. Ennél a két végén kampósan hajlított teherátadó acélbetét közepe van bitumennel kenve 25 cm hosszon. Így nem köt középen a betonhoz, és az acél nyúlása miatt egy kismértékű, kb. 0,4 mm-es zsugorodást, repedést ugyan enged, a kampók miatt azonban a zsugorodási hézagot észrevehetőbben megnyílni nem engedi. Ezért itt különösen indokolt a fűrészelt és kiöntött felső hézag helyett a fóliabevibrálással vagy merev műanyag lemez bevibrálásával, kiöntés nélkül kiképezni az ilyen hézagot.

b) *Hosszhézagok kiképzése teherátadó, horganyzó acélbetétekkel* a 7-40. ábrán látható. Hasonlít ugyan a vasalt zsugorodási kereszthézagokhoz, azonban célja más, ezért ezt a vasalást a hosszhézagnál akkor is alkalmazzuk, ha különben a zsugorodási kereszthézagoknál nem alkalmazunk teherátadó vasakat. A különbség itt az, hogy semmi bitumenes kenés nincsen, a köracél csak 12 mm ∅ vastag. A 80 cm hosszú acélbetétek 1,50 m-enként alkalmazva a hosszhézag átrepedése esetén is együtt tartják a két nyom párhuzamosan futó táblasorát, nem engedik szétcsúszni, a középső hézagot növekedni. (Erre ugyanis — vasalás nélkül — különösen tetőszelvényen, és utántömörödő földművön volt már hazai példa a múltban.)

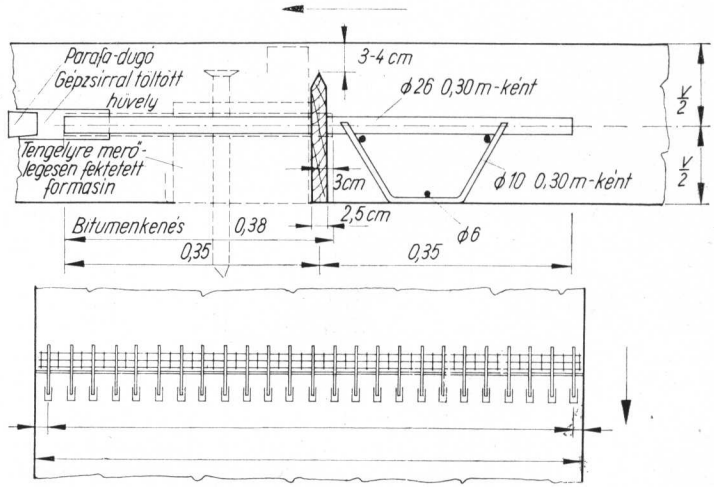
c) *Terjeszkedési hézag* esetén a 20 mm vagy télen annál nagyobbra is felnyíló nagy hézag esetén már akkor is szükség van teherátadó acélbetétekre, ha ugyanazon burkolatnál a zsugorodási hézagokhoz nem alkalmazunk.

Ilyen hézagvasalást látunk a 7-41. ábrán. Az 50 cm hosszú, 26 cm ∅-jű betonacél a betonlemez fele magasságában helyezkedik el, magasságát a betonozás előtt vékony betonacélból hajlított kengyelek (kosarak) adják. Egyik fele szilárdan köt a betonhoz, másik fele előzőleg forró bitumenes kenést kapott, így a beton nem köt hozzá, és korrózió ellen is véd a hézagban. A bitumenes végen egy dugóval félig kitöltött *bádogsapka* van a köracélra ráhúzva, ezért a konstrukció megengedi a dilatálást mindkét irányban. Az 50 cm hosszú köracélok felülnézetben kb. 30 cm-enként helyezkednek el a burkolat szélességében, s a puhafa hézaglemezen áthaladnak. Ezért az egész hézagvasalást a hézaglemezzel, kengyelvasakkal, merevítőkkel együtt többnyire előregyártva szerelik össze, és a betonozás előtt rendszerint készen helyezik el az ágyazatra. (7-41b. ábra.)

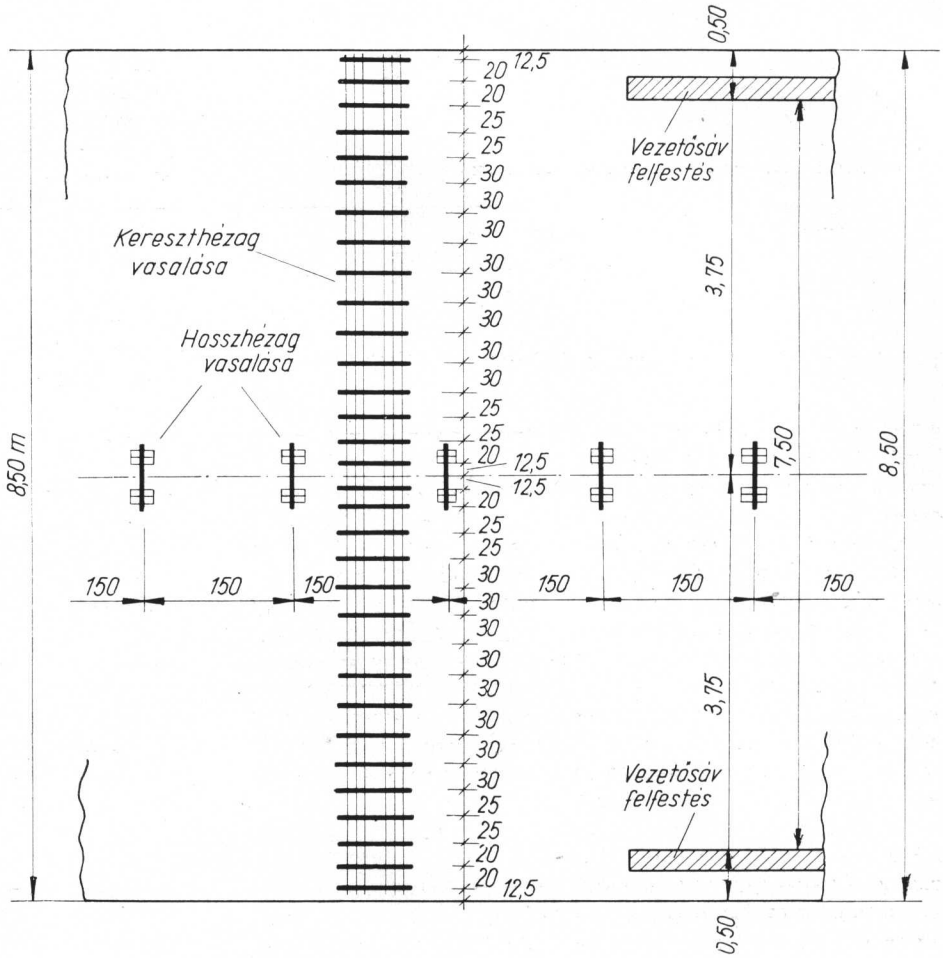
Végül a *hézagvasalás* szokásos *alaprajzi elrendezését* mutatja be a 7-42. ábra. A kereszthézagok vasai 30 cm távolságban vannak (a lemezszélek felé kissé sűrítve a sarkok erősítése érdekében), a hosszhézagok vasai pedig 150 cm-enként is elegendőek.



7-41a *ábra.* Terjeszkedési hézagot minden esetben teherátadó vasalással kell készíteni



7-41b *ábra.* Terjeszkedő hézag vasalása hazai betonburkolatnál, 30 cm távolságokban (24 × 30 + 15 + 15 = 750 cm)



7-42. *ábra.* A kereszthézag és a hosszhézag alaprajzi elrendezése 8,50=0,50+7,50+0,50 m széles betonburkolat esetén, egy terjeszkedési hézagban

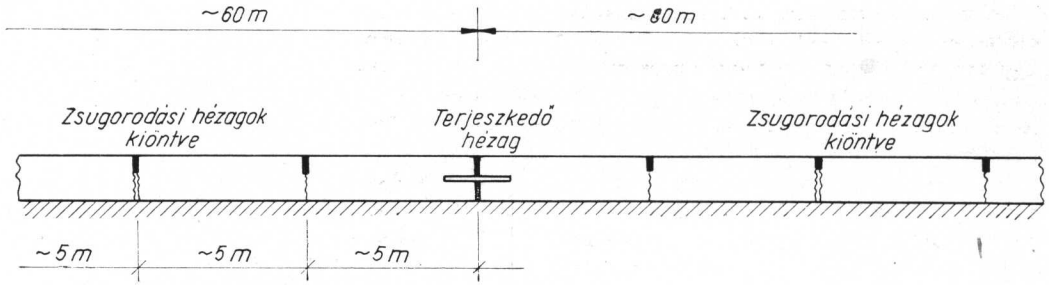
7.4.3.4. Betonburkolatok korszerű hézagrendszerei

A betonburkolatok hézagkiosztásának fejlődését a bevezetőben a 457. oldalon és a 7-2. ábrán röviden vázoltuk a kezdeti 12 m-enkénti terjeszkedési hézagok rendszerétől a terjeszkedési hézagok nélküli, csak sűrű látszathézagokat alkalmazó korszerű rendszerig. Ma már csak háromféle hézagrendszert tarthatunk korszerűnek:

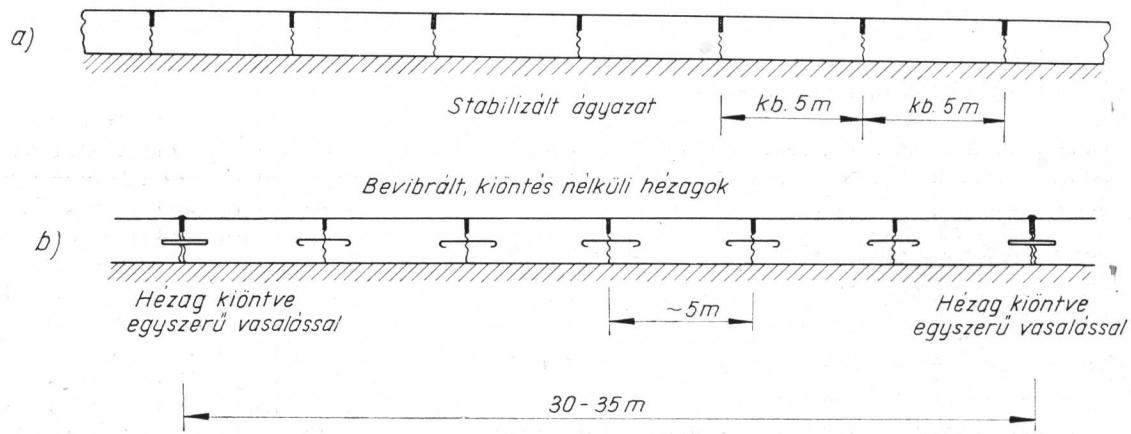
a) *A 60...100 m-enként alkalmazott terjeszkedési hézagok között kb. 5 m-enként látszathézagok vannak* keresztirányban, vasalás nélkül vagy egyszerű hézagvasalással, hézagvágógéppel utólag kialakítva. A hosszhézag vasalt, horganyzott látszathézag (7-43. ábra). Bár ez a hézagrendszer már jóval korszerűbb mint a régebbiek, azonban még átmeneti jellege van. Kétségtelen, hogy a terjeszkedési hézagok között a látszathézagok az igen rövid, 5 m-es lemezhosszanként elvileg csak alig nyílnak meg. A gyakorlat azonban azt mutatja, hogy a betonlemez első nyári felmelegedésekor a terjeszkedési hézagok jelentősen összeszűkülhetnek, 20 mm-ről 7...10 mm-re. A téli összehúzódáskor a látszathézagok egy nagy része — de korántsem mindegyik — elreped az előírt helyen. Ekkor az elrepedt látszathézagok közötti 5, 10, 20 m-es lemezszakaszok eredetileg nyáron kissé eltolódott helyzetükben maradnak. A látszathézagok egy része tehát a terjeszkedési hézagok kárára jelentősebben felnyílik. Pár év alatt így a rövidebb-hosszabb betontáblák sok kis hosszirányú eltolódás és zsugorodás, hosszrövidülés után úgy helyezkednek el, hogy végeredményben a látszathézagok is jobbára mind szűk terjeszkedési hézagokká változnak át. Ezek a víz elleni szigetelést, kiöntést és fenntartást igénylik, amellett nyáron a szükséges dilatációs nyomófeszültségek kialakulását lehetetlenné teszik, és ezzel a terhelési és vetemedési húzófeszültségeket nem tudják ellensúlyozni, csökkenteni. E rendszer esetén a hatékony teherátadódás csak vasalt hézagokkal hozható létre.

b) *A terjeszkedési hézagok nélküli, csak kb. 5 m-enkénti látszathézagokat alkalmazó hézagrendszer* számos előnye miatt korszerűbb az előbbinél. Itt csak látszathézagok vannak kb. 5 m-enként, ezért a nyári kedvező nyomófeszültségek jobban kialakulhatnak, és a táblamozgások lehetősége kisebb. A konstrukció igen egyszerű. Jól stabilizált alapnál csak felső hézagvágással vagy bevibrálással végzik a látszathézagkiképzést, teherátadó vasalások nélkül (7-44. ábra). Létre kell hozni azonban az egyenletes betonminőséget, hogy a téli repedés valóban a bevágással 25%-kal gyöngített keresztmetszetben következzen be, ne pedig egy más kisebb szilárdságú helyen.

Megjegyezzük, hogy ezt a hézagrendszert az USA számos állama már több évtizede jó eredménnyel alkalmazza. Európában később kezdett csak elterjedni a módszer; hazánkban már 1952-ben létesítettek 600 m hosszú terjeszkedési hézag nélküli kísérleti szakaszt, amely 19 évvel később is jóval ke-



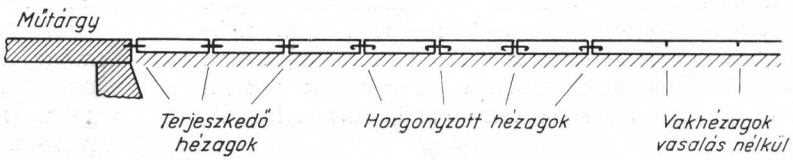
7-43. ábra. Terjeszkedő hézagokkal és közöttük zsugorodási hézagokkal kialakított hézagrendszer



7-44. ábra. Terjeszkedési hézagok nélküli hézagrendszer, kb. 5 m-enként zsugorodási hézagokkal: *a)* hézagvasalás nélkül; *b)* hézagvasalással, egyszerű és horganyzott acélbetétekkel

vesebb repedést, jobb állapotot mutat, mint a szomszédos szakaszok (7-es út B.-keresztúr—Nagykanizsa). A 60-as évek végén ez a rendszer már Európa számos országában is elterjedt. Hazánk, Ausztria, a német államok mellett főleg a csúszózsalus finiserek alkalmazása terjesztette el a rendszert Franciaországban és Angliában.

c) *Nagyobb forgalom esetén* az előbbi hézagrendszer továbbfejlesztett, de jóval költségesebb változatát látjuk a 7-44*b* ábrán. Főleg Svájcban és az NDK-ban alkalmazták. Lényege, hogy minden 5. vagy 6. látszathézag csak egyszerűen vasalt, és csak ezek felett van kissé szélesebb, bitumennel kiöntött 5 cm mély vágott vagy bevibrált hézag. Az összes többi közbenső látszathézag kampós horganyzott vasalással készült, amelyeknél így csak 0,2...0,4 mm mozgás lehetséges a repedés után is; a felső hézagok itt vékony acéllemezzel fóliabevibrálással készültek. Így ezeket nem kell bitumennel kiönteni, és a betonlemez felülete is hullámmentesebb marad. Így tehát 5...6 db 5 m-es lemez egymáshoz van horgonyozva, a húzási repedések pedig csak a kijelölt helyen képződnek. Kisebb fajta hézagmozgás csak a 25...30 m-enkénti bitumennel kiöntött látszathézagnál lesz. Nyáron itt is várható, hogy a kedvező dilatációs nyomófeszültségek jól kialakulnak. Ezen rendszer hátránya a nagyobb építési költség és az építési többletmunka. Nagy előny azonban a hosszabb élettartam, a fenntartási munkák erős csökkenése és a betonlemez felületének sokkal simább, hullámmentesebb volta.



7-45. ábra. Nagyobb műtárgyak, hidak előtt és után mindig kb. két db terjeszkedő hézagot kell alkalmazni

A *b)* és *c)* jelű rendszerben a nyomóerők hatásával kapcsolatban ügyelni kell arra, hogy nagyobb műtárgyak előtt egy-két terjeszkedő hézagot létesítsünk, előtte 4...5 horganyzott—vasalt látszathézagot. Így a 7-45. ábra szerint meg lehet oldani, hogy a nagyobb műtárgy a jelentős vízszintes nyomóerők terhelésétől mentesüljön.

Itt is és más terjeszkedési hézag esetén is meg kell valósítani, hogy ne kerüljön a hézagba semmi szilárd tárgy, vagy ne maradjon kiviteli hiba miatt a hézagban vékony „betonhíd", amely koncentrált kis helyen vagy sávon igen nagy nyomóerőt ad át a szomszédos lemeznek, és amely ilyenkor le is repesztheti a lemez felületét. Ez azonban nem a hézagrendszer hibája, hanem kiviteli gondatlanság eredménye.

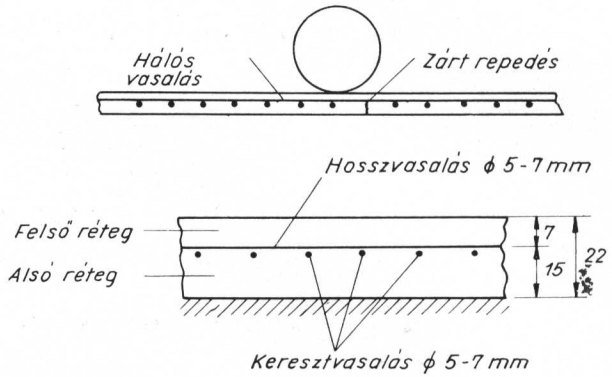
7.4.3.5. Felületi lemezvasalás alkalmazása betonburkolatok esetén

Több államban a betonburkolat építésekor rendszeresen alkalmaztak *felületi vasalást.* Így pl. a közelmúlt német gyakorlata szerint:

10 m hosszú betonlemezekhez 0,07...0,1% hosszvasalás, (összesen 2...4 kg/m²);
40 m hosszú betonlemezek esetén 0,2% hosszvasalás, (összesen 5...6 kg/m²);
100 m hosszú betonlemezek esetén 0,3...0,4% hosszvasalás, (összesen 8...11 kg/m²).

A fenti %-értékek a *hosszirányú* vasalás keresztmetszetében, a beton-keresztmetszet %-ában értendők, amíg a (kg/m²) vasmennyiség már a keresztirányú vasak beszámítása mellett adódik. Az alkalmazott köracélok átmérője 6 mm... 8 mm ∅ közötti, a hosszirányú vasak súlya legalább 2,5-szerese kell legyen a keresztirányú vasak súlyához képest. Rendesen ponthegesztéssel előregyártott, tekercsekben helyszínre szállított lemezvasalást építenek be, előírás szerint a betonlemez felülete alatt legalább 5 cm, de legfeljebb 7 cm-rel (7-46. ábra). Ez a mód feltételezi a kétrétegű beton alkalmazását vagy legalábbis az egyrétegű beton két adagban való kétszeri egyenletes elosztását. A vasalás az építési költségeket mind az anyag, mind a többletmunka miatt jelentősen megemeli.

Miért alkalmaznak az említett államok drága felületi vasalást a betonburkolathoz? Külön hangsúlyozzuk, hogy *nem a betonlemez hajlítási húzófeszültségeinek felvétele miatt, azaz nem a betonlemez teherbíró-képességének fokozása érdekében működik a lemezvasalás.* Ez onnan is nyilvánvaló, hogy a lemezvasalás a betonlemez felső részén helyezkedik el, ahol a mértékadó veszélyes teherállásnál és nappali vetemedési alakváltozásoknál a szuperponált, halmozott *nyomófeszültségek* vannak, és így a hajlítási húzásokat a burkolatban a lemezvasalás ellenére is majdnem teljesen csak a beton saját húzószilárdsága veszi fel.



7-46. ábra. Régi típusú felületi lemezvasalás, a repedések felnyílásának megakadályozására

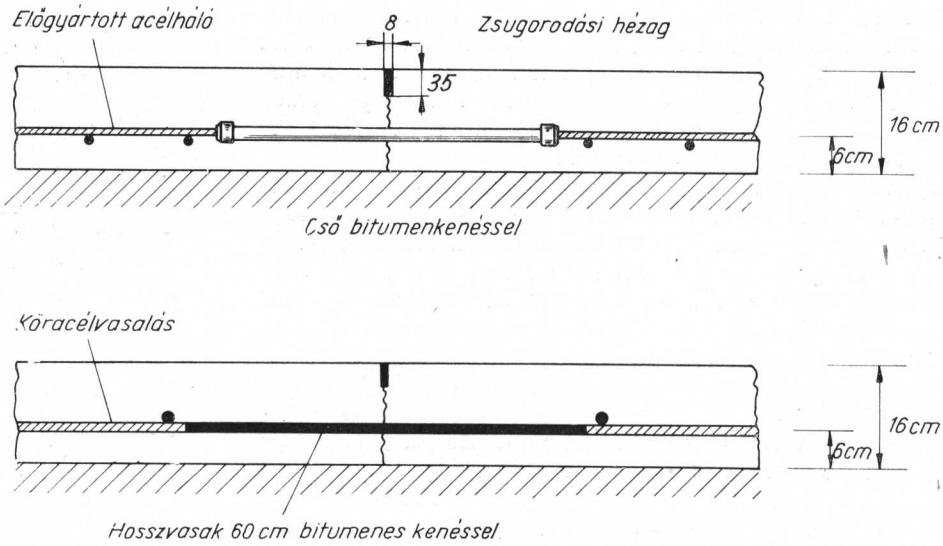
A felületi vasalás bevallott célja ezen államokban az, hogy a betonlemezek bárhol előálló esetleges *repedéseinél megelőzze azok nagyobb megnyílását és egyúttal teherátadódást létrehozva megelőzze a repedéseknél a függőleges lépcsők kialakulását.*

A felületi vasalás alkalmazása és megmaradása tulajdonképpen abból a régebbi és ma már korszerűtlen koncepcióból származik, hogy a kellemetlen terjeszkedési hézagokat, valamint a túlzott hézagkiöntéssel szintén felületi egyenetlenségeket okozó régi kivitelű látszathézagokat is egyaránt ritkítani igyekeztek. Így az erősebb felületi lemezvasalással a hosszabb lemezek szabálytalan zsugorodási repedései sűrűbben fordultak elő, azonban alig nyíltak fel, s jó és lépcsők nélküli pályafelületet adtak.

Ezeket az előnyöket sokkal gazdaságosabban, olcsóbban, egyszerűbb technológiával el lehet érni a terjeszkedési hézagok erős ritkításával vagy elhagyásával, és egyidejűleg a látszathézagok ≈ 5 m-re való sűrítésével. *A mai korszerű felfogás szerint a felületi lemezvasalás nem indokolható kellően és ezért szükségtelen.* Számos állam (USA 15 állama, Franciaország, Belgium, Kelet-Németország, Ausztria) elhagyta vagy nem alkalmazza már a lemezvasalást. Magyarországon — elsősorban költségmegtakarítás érdekében — sohasem alkalmaztak lemezvasalást, noha a régebbi szabályzat ennek lehetőségét megengedte.

Emlékeztetni kell arra, hogy — különösen régebben — több irodalmi forrás azt állította, hogy a lemezvasalás a nyomott zónában is jelentős teherbírás-növekedést jelent, és a lemezvasalás elhagyását csak 1,5...2 cm betonlemez-vastagítással lehet ellensúlyozni. Ezek a felfogások azonban nem állják meg helyüket, és bennük sokszor a betonacélgyártó érdekeltségek véleménye tükröződik.

Végleges tapasztalati értékelést és döntést adott ebben a kérdésben az 1958...60 között az AASHO-útkísérlet (466. oldal), ahol kiderült, hogy az azonos körülmények között terhelt, azonos vastag vasalt betonburkolatok, valamint felületi lemezvasalással nem bíró, csak 5 m-enkénti vasalt látszat-



7-47. *ábra.* Rugalmasan kapcsolt betonlemezlánc, mint a felületi lemezvasalás egy új változata, terjeszkedő hézagok nélkül ([59] 1969)

hézagokkal épített betonburkolatú szakaszok élettartama között nem volt jelentős különbség, sőt valamivel *még kedvezőbben is viselkedtek a lemezvasalás nélküli* — amellett kisebb építési költségű — *betonburkolatok.*

Az 1969. évi párizsi betonkonferencián az *Fordyce* (Portland Cement Association) az USA tapasztalatait összegezve kiemeli, hogy a felületi lemezvasalással készült betonburkolatok nemcsak jóval költségesebbek, hanem élettartamuk kisebb, a fenntartási költségeik is nagyobbak, és a repedéseket a nagy hézagtávolságok miatt nem tudják megakadályozni, szemben a jóval előnyösebbnek mutatkozó vasalás nélküli terjeszkedő hézag nélkül épített betonburkolatokkal [37].

Ugyanezen a konferencián azonban külön ülés foglalkozott az általában még kísérleti stádiumban levő *újabb típusú* felületi lemezvasalásos betonburkolat-rendszerekkel, amelyektől azt várják, hogy 30...40 évig semmi fenntartási munkát a hézagokkal és a lemezzel nem kell majd végezni.

Ilyen újabb módszert vezettek be 1968 óta Nyugat-Németországban, főként régi, elhasználódott betonburkolatok felett való új betonburkolatok építésére (*Eisenmann* [42], *Finsterwalder* [44], Hinweise Fgs. f. Stw. [59]). Az új módszer lényege a 7-47. ábrán látható irányított repedésképződésű, folytonosan vasalt és *rugalmasan kapcsolt lemezlánc*, amely csak 16 cm vastag a régi beton felett. Itt van a rendszer gazdasági előnye. A 4,2 m-enként ismétlődő bevágott zsugorodási hézag alatt a hosszvasakat vagy bitumennel kenik 60 cm hosszban, vagy előgyártott köracélháló esetén a hosszvasakat 60 cm hosszban egy cső veszi körül, amelyet félig szintén bitumennel kennek be (7-47. ábra). Így a repedésnél kis mozgási lehetőség van, de az erősen korlátozott. Az alkalmazott acél min. folyási határa 55 kp/mm². Köracél alkalmazásakor kb. 10 kp/m² mennyiség szükséges, a hosszvasak 33 cm-enként 18 mm ∅ méretűek, a keresztvasak 40 cm-enként 16 mm ∅ méretűek. Acélháló alkalmazásakor két háló van. 2,9 m széles a közbenső háló. A zsugorodási hézag alatti háló 2,15 m széles, a hosszvasakon acélcsövekkel. A két-két háló átfedése mindig 42,5 cm. A hálók hosszai a burkolatszélességnek felelnek meg. Így hálók alkalmazásával az acélmennyiség (csövekkel együtt) 8,0 kg/m². Eltérően a régebbi hálós vasalásoktól, itt a vasháló nemcsak a repedéseket korlátozza, hanem a teherbírást is fokozza. Ezért engedhető meg a kis, 16 cm-es lemezvastagság autópályákon a régi beton felett. Jellemző természetesen, hogy az acélbetétek síkja most nem felül van, mint régen, hanem az *alsó* harmad közelében, 6 cm-re a lemez aljától.

Kétségtelen, hogy a felületi vasalás szükségességének és értékelésének kérdését sok országban mindenesetre erősen befolyásolják a cementipar és a betonacélipar ezen a területen ellentétes törekvései.

7.4.3.6. Feszített betonburkolatok jelentősége közutakon

A szokásos betonburkolatnak kétségtelen elvi és gyakorlati hátránya, hogy a hajlításra igénybe vett betonlemez hajlítószilárdsága igen kicsi és teljesen ki van használva, amíg a nyomószilárdsága sokkal nagyobb, és az alig van kihasználva. Ezért viszonylag gazdaságtalan vastag betonlemezeket kell építeni. (Különösen megmutatkozik ez a tény a repülőterek leszállópályáin, ahol a sokkal nagyobb keréksúlyok miatt 40 cm-en felüli betonburkolat-vastagságok is adódnak.)

Ezért jelentősek a *feszített betonburkolatok.* Az utolsó másfél évtizedben számos államban építettek kísérleti szakaszokat, sok kísérletet és vizsgálatot végeztek. Közúti alkalmazásokban a feszített betonpálya mindeddig gazdaságtalannak, de távlatban reménytkeltőnek mutatkozott, amíg a repülőtéri burkolatokban *már ma* gazdaságos. Megállapítható, hogy a feszített betonpályák ma még a forrongó, fejlődés alatti kiforratlan állapotban vannak: ahány ország és kísérleti pálya, annyi feszítési rendszer és kiviteli technológia. Legnagyobb tapasztalatuk ezen a téren jelenleg — főleg re-

pülőtér építésben — Franciaországnak, Szovjetuniónak és Nyugat-Németországnak van. A sokféle eljárás néhány már kialakult közös jellemvonását tájékoztatásul összefoglaljuk.

A feszítést többnyire 120...150 m-es hosszúságú, 3,50... ...7,50 m széles összefüggő lemezekben végzik. A lemez vastagsága úton 12...16 cm, repülőtéren 16...22 cm között változik, s szokásos ágyazaton fekszik. A feszítési rendszer sokféle lehet: szálankénti és sodrott pászmás előfeszítés, acélrudas és kábeles utófeszítés, kereszthézagokban lehorganyzott sajtókkal való külső feszítés stb. A pályákat általában két csoportba, a mozgó és a fix rendszerű pályák csoportjába lehet sorolni. [36]

A *mozgó rendszerű pályákon* a hosszú feszített lemezek végei szabadon mozoghatnak a zsugorodás, a lassú alakváltozás és a hődilatáció hatására. A változó méretű nagy hézagok mozgásait külön dilatációs berendezések veszik fel, amelyek fémből, keménygumiból, neoprén anyagból stb. készülnek, és zökkenőmentes áthaladást tesznek lehetővé.

A *fix rendszerű pályákon* a hosszú lemezek végén fix lehorgonyzó támaszokat építenek, és a táblavégi hézagokat a zsugorodás és lassú alakváltozás egy részének lezajlása után fixen kibetonozzák. Így a betonlemezben a belső feszültség a $\sigma = \alpha E \Delta t$ ismert képlet szerint erősen változik a hőmérséklet hatására, és összesen kb. 180 kp/cm² nyomófeszültségingadozást okozhat.

A feszítés mértéke általában olyan nagy, hogy a betonkeresztmetszetben a legkedvezőtlenebb hideg időben is kb. 30 kp/cm² nagyságú nyomófeszültség maradjon. Így a fix rendszerű pályákon a nyári maximális nyomófeszültség 30+180=210 kp/cm² értékre is növekedhet elvileg.

Igen nagy előny, hogy a feszített betonlemezekbe vitt nyomófeszültség a hajlítási húzásokat kompenzálva, igen jelentősen emeli a teherbíró-képességet anélkül, hogy látszathézagokat vagy repedési hézagokat kellene megtűrni. Ez a körülmény jelentős anyagtakarékosságot eredményez, amellett az utazási kényelmet a hézagok elmaradásával erősen fokozza.

Kétségtelen hátrány ezzel szemben, hogy a kivitelezés komplikált, nehézkes és nem kiforrott volta miatt ma még a többletköltségek sokszor felemésztik a vékonyabb lemezből adódó megtakarításokat.

Jelenleg ezért csak nagyterhelésű repülőtereken lehet a feszített betonburkolatokat versenyképesnek tekinteni. Egy *német kongresszusi jelentés* (1964) szerint minél nagyobb a terhelés, annál gazdaságosabb a feszített beton: 10 Mp keréknyomásig még a normál betonburkolat feltétlen gazdaságosabb, 10...15 Mp között változó a helyzet, 15 Mp felett pedig már a feszített betonburkolat mutatkozik gazdaságosabbnak. A kereszthézagok elmaradása és fenntartás-szükségének csökkenése is igen jelentős előny. A *francia kongresszusi jelentés* (1964) szerint a feszített betonpálya repülőtereken:

a) jó altalajon és kis terhelések esetén nem versenyképes;

b) rossz altalajon és nagy terhelések esetén versenyképes;

c) igen rossz altalajon és nagy terhelések esetén különösen előnyös és sokszor az egyetlen lehetséges jó megoldást jelenti.

Közutak esetében az eddigi kísérleti szakaszok egyike sem volt gazdaságosnak mondható, a helyzet azonban a jövőben a technológiák kiforrása után még talán javulhat. Hazánkban feszített betonburkolattal eddig nem végeztek kísérletet. Külföldön a közel két évtizede állandóan folyó közúti kísérletek máig nem tudták még létrehozni egyetlen feszített közúti betonburkolati rendszer jelentősebb gyakorlati elterjedését sem.

7.5. BETONBURKOLATOK KIVITELEZÉSE

7.5.1. Az útbeton készítésének és szállításának rendszerei

A betonburkolat építése vonalas jellegű munka. A betonburkolat építéséhez nagymennyiségű, több 10 000 t mennyiségű építési anyagot (zúzottkövet, zúzalékot, homokot, cementet stb.) kell fogadni és feldolgozni. Ilyen mennyiségű anyagot hazai viszonyok között elsősorban egy vasúti állomáshoz vagy vonalhoz csatlakozó külön iparvágány mellett lehet fogadni. Az *anyagfogadó állomásnak* a vonalas munka egy kb. 15...20 km-es szakaszának a súlypontjában választják ki gazdasági és műszaki megfontolások alapján, s rendesen főleg az útépítés terhére végzett vasúti állomásbővítéssel jár. Az anyagfogadó állomáson az egyes frakciókat külön téglafalakkal elválasztott, burkolattal ellátott depóniahelyeken tárolják a vágány mellett. A vasúti kocsik kirakását gépesített módszerekkel kell megoldani (pl. géplapát stb.).

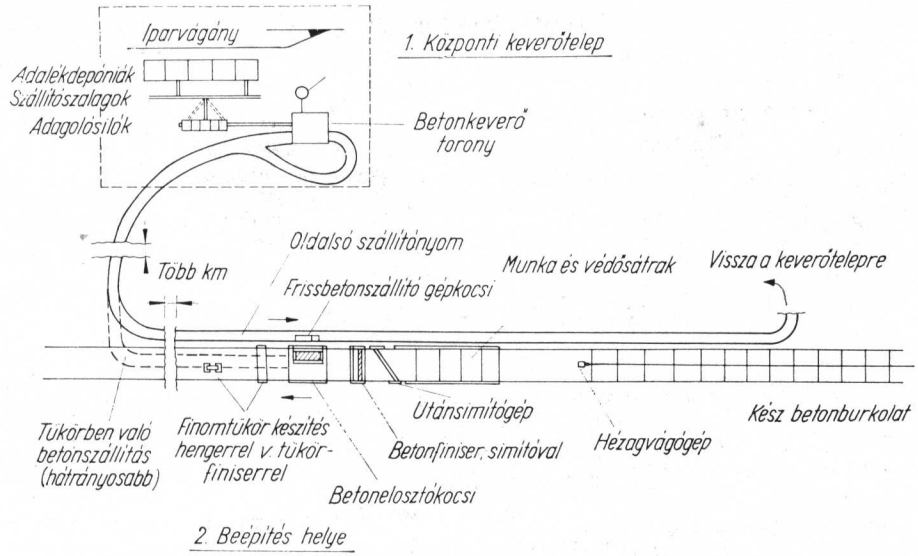
A beton készítésére és szállítására vonatkozóan három alapvetően eltérő rendszer alkalmazása szokásos:

I. Az anyagfogadó állomáson berendezett *stabil központi betongyár (keverőtelep)*, ahonnan a kész, *megkevert betont tehergépkocsin, dömperen szállítják* a több km távolságban levő beépítési helyre (7-48. ábra).

II. Az anyagfogadó állomásról tehergépjárművel csak az adalékanyagot és cementet szállítják el, a *betonkeverés mozgó keverőgépekkel* a beépítés helyén, tehát *helyszíni keveréssel* megy végbe (7-49. ábra).

Átmeneti jellegű a két alaprendszer között a harmadik, ritkán alkalmazott lehetőség.

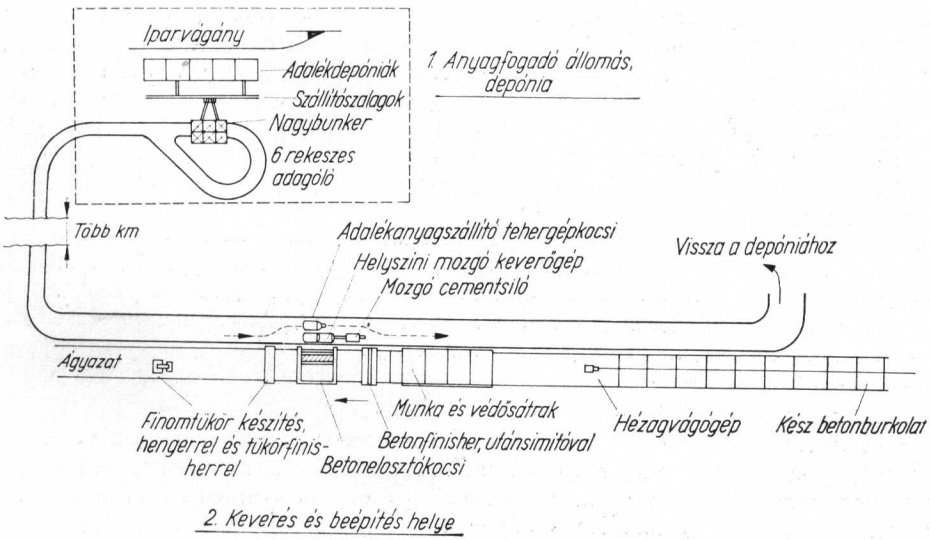
III. Az anyagfogadó állomáson az adalékanyagot, vizet és a cementet *keverő-szállítógépkocsik* veszik fel, s *szállítás közben keverik meg a betont*, s így a beépítés helyén friss betont ürítenek ki (7-50. ábra).



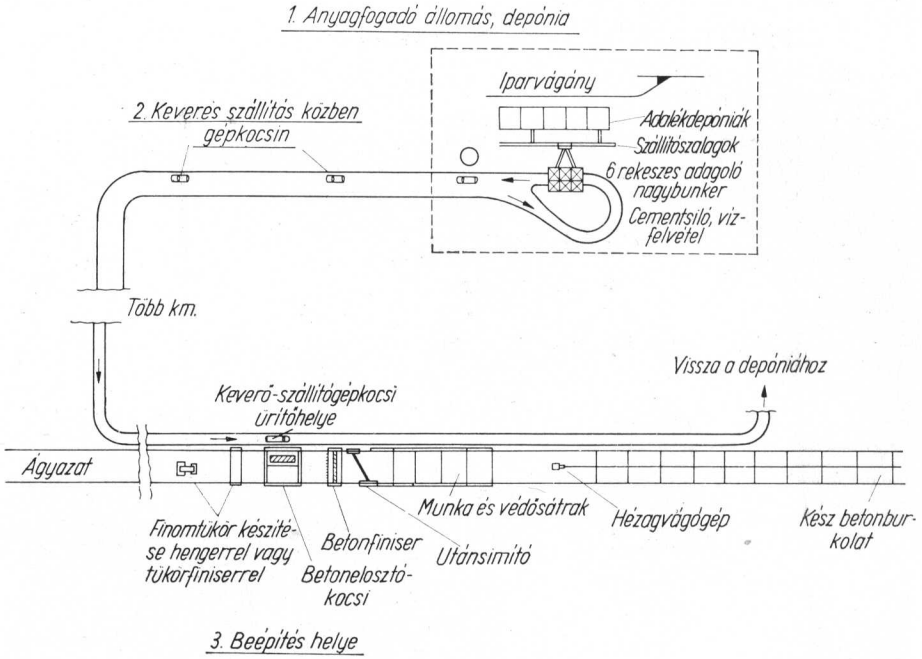
7-48. *ábra.* Központi betongyár és a kész beton szállítása a beépítő géplánchoz. Vázlat

A betonútépítéshez mind a három rendszer egyformán alkalmas és korszerű lehet. Adott esetben a választást főleg az dönti el, hogy az illető építő vállalatnak milyen gépi berendezései vannak, ill. milyen berendezésre vannak lehetőségei, s adott esetben melyik módszerrel lehet gazdaságosabban, olcsóbban megoldani a betonkészítés és -szállítás együttes feladatát, a minőség feltétlen megtartása mellett.

Magyarországon az M-7 autópálya betonburkolatának építését központi keverőtelepekkel, a megkevert beton szállításával végezték. Régebben ezt az (I) módszert csak koncentrált munkahelyeken, pl. repülőtér kifutópályáinak építéséhez alkalmazták, amíg vonalas jellegű útburkolathoz inkább a beépítés helyén mozgó keverőgépeket alkalmazták (II. módszer).



7-49. *ábra.* Adalékanyag-szállítás és a mozgó keverőgéppel végzett helyszíni keverés módszere. Vázlat



7-50. ábra. Szállítás közben való betonkeverés módszere, számos betonkeverő-szállító gépkocsi alkalmazásával. Vázlat

7.5.1.1. Központi keverőtelep és a kész beton szállítása

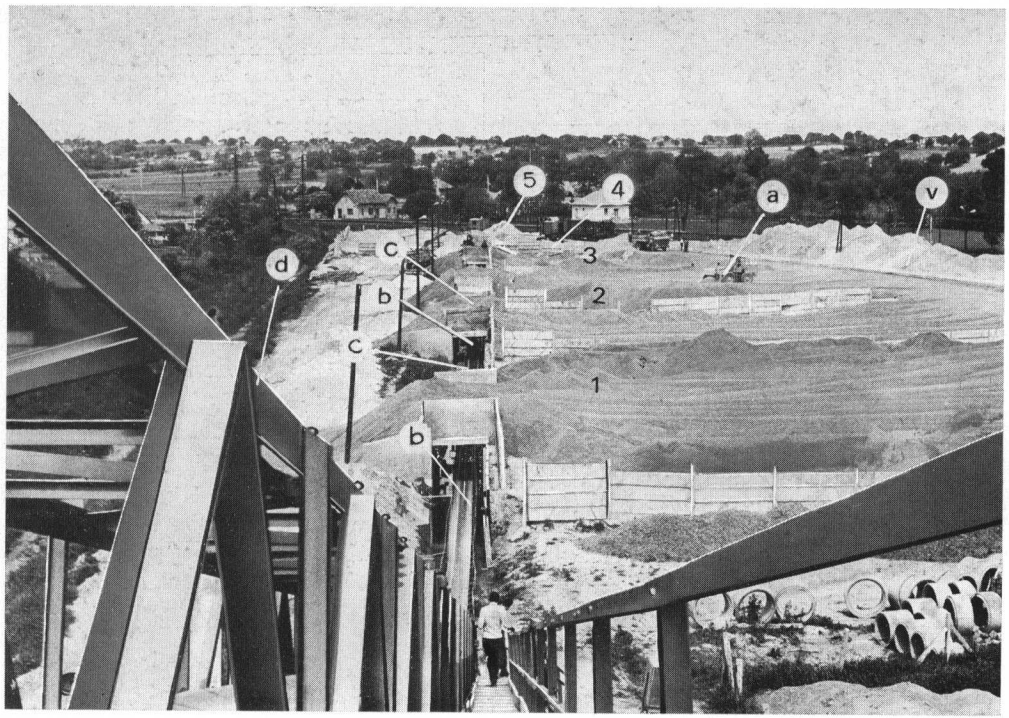
A központi betonkeverő-telep egy jellemző helyszínrajzi vázlatát, elrendezését látjuk a 7-51. ábrán, amely lényegében hasonlít az M-7 autópálya 1966...67 között üzemelő Martonvásáron létesített központi keverőtelepéhez.

Az első szélen levő, töltésben fekvő kiszolgáló *iparvágány* mellett hosszában sorakoznak a burkolt és fallal elválasztott *depóniahelyek* az 5...6-féle adalékfrakciónak (pl. *H* 0,1/1, *H* 1/5, *NZ* 5/12, *NZ* 12/22, *NZ* 22/40). A depóniahelyekkel párhuzamosan egy nagy bányászati *800 mm széles szállítószalag* van elhelyezve többszáz m hosszban. Az adalékanyaghalmokból egy vagy két gyors, gumikerekes *kanalas rakodó* rakja az éppen szükséges frakció anyagát a szállítószalagra. Az anyag erről egy ferde, emelkedő szállítószalagon egy magas, legalább *6 rekeszes nagy tárolóbunkerbe* kerül. A szállítószalagot bármely rekesz táplálására át lehet állítani. Innen egy hídszerű szállítószalag az adalékanyag-frakciókat sorra átviszi a toronyrendszerű *automatikus kényszerkeverő-berendezésbe* (betongyárba). Ehhez közel vannak elhelyezve a *cementsilók*, ahonnan pneumatikus úton táplálják a betonkeverő cement silóját. A *betonkeverő torony* tetején szintén 6 rekeszes adalékanyag-siló van, ahonnan *automatikus súly szerinti mérlegeléssel* kerül az anyag a keverőtérbe. A légpórusképzővel ellátott, pontosan adagolt vizet és cementet is bejuttatva, a két vízszintes tengelyű keverőlapátsor teljesen homogén betonkeveréket készít. A kész betonkeverék a keverőtérből vagy azonnal a *szállító-tehergépkocsiba* ejthető vagy pedig egy készbetontároló silóba, ahol a szállítógépkocsik kisebb menetidő-eltérései kiegyenlíthetők.

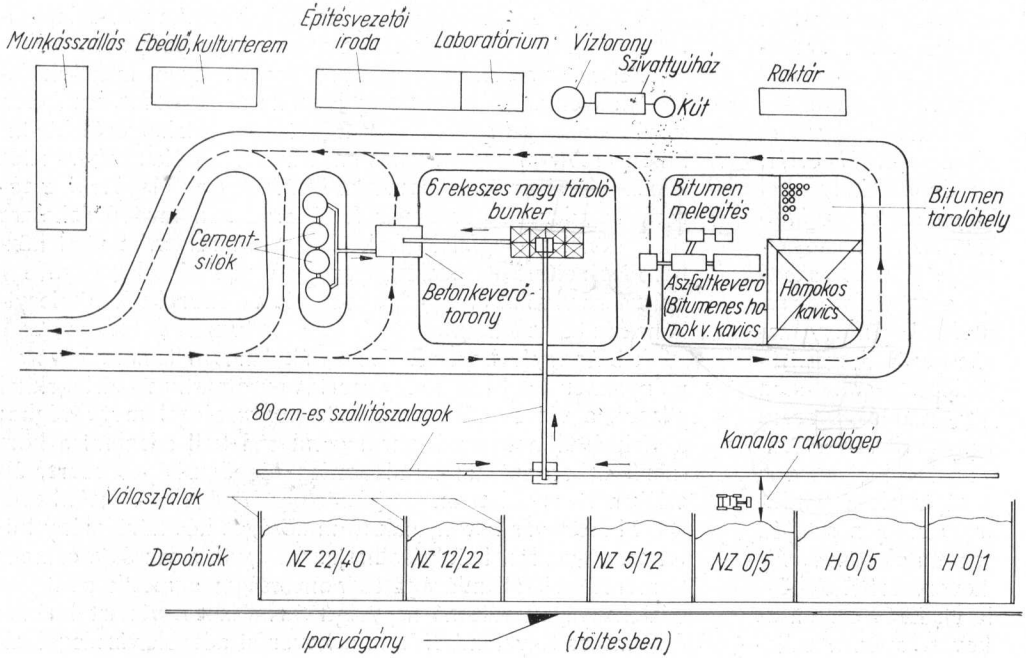
A 7-3. képen egy még egyszerűbb betonkeverő-telep elrendezés látható (M-7 út székesfehérvári és polgárdi keverőtelepének az elve). Itt a vasútról kirakott egyes frakciók depóniahelyeinek szélei alatt egy kisméretű *alagút* fut, amelyben szállítószalag van. Mindegyik frakció depóniahelyéről különkülön gravitációsan rá lehet engedni az adalékanyag-frakciót a szállítószalagra. A hosszú szállítószalag az alagútból a toronyelrendezésű betongyár felső emeletén levő 6 rekeszes silók közül a megfelelő frakció szerinti rekeszbe viszi közbenső tárolásra az adalékanyagot. A szállítószalag vége egy csúszdára viszi az anyagot, a csúszdát a 6 silórekesz mindegyikéhez át lehet állítani.

A betongyár berendezése az általánosan ismert követelményeknek felel meg: súly szerint automatikus mérlegekkel adagol, a víz bemérése különös pontossággal megy végbe; a vízbe külön berendezéssel gondosan kell adagolni a korszerű útbetonnál elmaradhatatlan légpórusképző szert, általában vizes oldatban.

A betongyár betonjának jó minőségét két körülmény különösen gyakran befolyásolhatja. Az egyik a víz és a cement bemérésének állandósága és pontossága; a másik pedig az adalékanyagok változó nagyságú természetes víztartalmának folyamatos figyelembevétele a keverési adagok vízadagolásá-

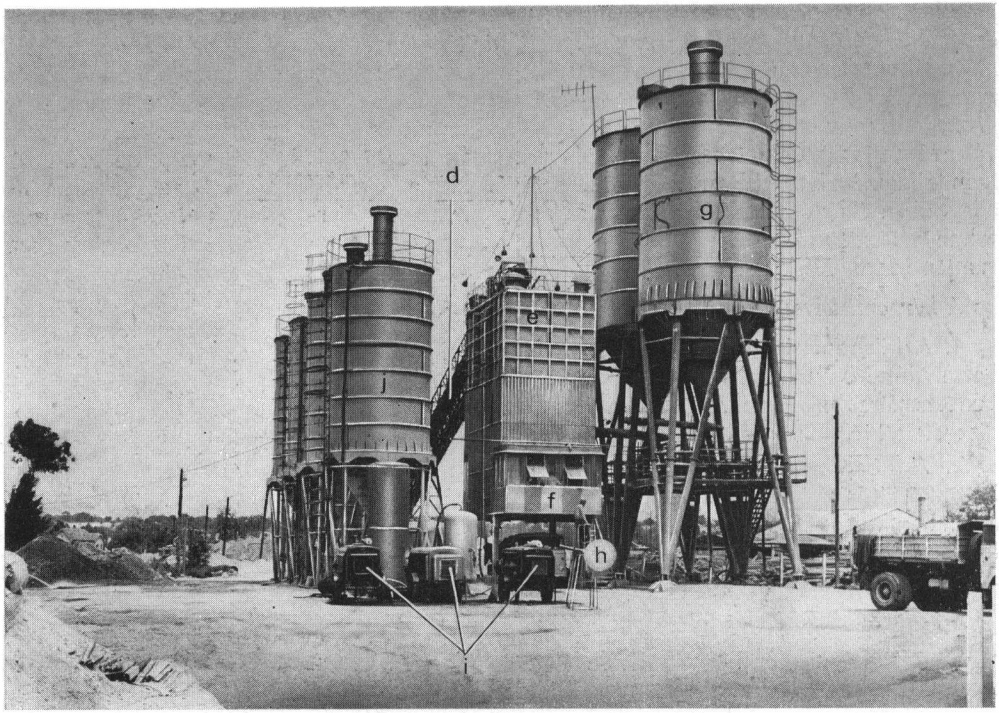


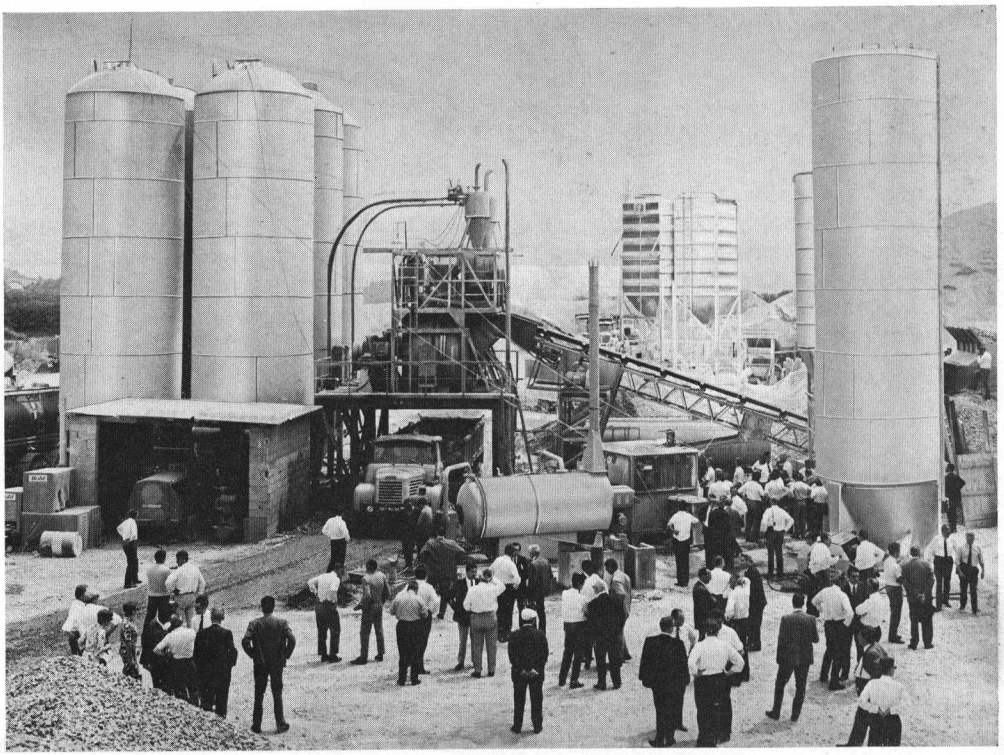
7.3 kép. Az M—7 autópálya építésekor Polgárdiban dolgozó betonkeverőtelep anyagdeponia helye szállítószalag-alagutas megoldással. V: vasúti kiszolgáló vágány, 1-2-3-4-5 az 5 adalékanyagfrakció helye, *a)* kanalas rakodó, *b)* szállítószalag, *c)* egyes frakciók adagológaratja a szállítószalag-alagút fölött, *d)* szállítószalag-híd a toronykeverőhöz



7-51. és 7-52. *ábra.* Központi betonkeverőtelep általános elrendezése (Martonvásár)

7.4 kép. Az *UVAMIX*-rendszerű hazai 60 m³/óra teljesítményű kis-közepes betongyára a Polgárdiban dolgozó autópálya-betonkeverőtelepen. *d)* szállítószalag-híd, *e)* ötfrakciós közbenső tároló bunker, *f)* mérlegelőkeverőberendezés, *g)* dolgozó cementsilók, *h)* betonszállító gépkocsi, *i)* légsűrítő kompresszorok, *j)* tartalék fogadó cementsilók (Betonútépítő Vállalat)





7.5 kép. A francia A—6 autópálya építésénél alkalmazott 240 m³/óra nagy teljesítményű központi betonkeverőtelep, csúszózsalus betonfiniser kiszolgálására

nak korrigálásához. Ez utóbbit minden keverőtelepben a *depóniák víztartalmának naponta végzett meghatározásával megfelelően korrigálni kell.* Korszerű nagy betongyárakban azonban elektromos mérőberendezésekkel *diagramon regisztrálják* minden keverés alatt a keverő elektromos motor változó teljesítményfelvételét, áramfogyasztását. Ez ugyanis igen jellemző a betonkeverék egyenletességére. Ha a keverési adagokban akár a víztartalom vagy az adalékanyagok víztartalma változik, akkor az a keverőmotor áramfelvétel-diagramján azonnal észrevehető.

A központi keverőtelep előnyei a következők:

1. A központi keverőtelep betongyárában a jó minőségű beton készítésének feltételei kedvezőbbek, az ellenőrzés is koncentráltabb és jobb. A vízadagolás, az egyenletes minőség biztosítása is jobban lehetséges.

2. A központi keverőteleppel elkerülhetők a helyszíni betonkészítés nehézségei, pl. a mozgó keverőgépnek az úttükörben való káros mozgása vagy az oldalsó, burkolat melletti sávon vagy padkán haladó betonkeverő esetén pedig a helyszűke miatti anyagszállítási nehézségek.

A központi keverőtelep hátrányai a következők:

1. A friss beton szállítása csak korlátozott ideig és korlátozott távolságra lehetséges, mert különben a beton idő előtt megköt vagy szétkeveredhet. A friss beton szállítását ezért legfeljebb 10...15 km távolságban végzik, tehát egy központi keverőtelep max. 30 km hosszú vonalas szakaszt szolgálhat ki. A szétkeveredés ellen előnyös a légpórusképző anyagok alkalmazása.

2. Akár a szállítógépkocsik meghibásodása, torlódása, akár a beépítés helyén a bedolgozógép időleges üzemzavara jelentős mennyiségű már megkevert betonnak a használhatatlanná válását, s ezzel jelentős károkat és szervezési zavart okozhat. Ezt a hátrányt enyhíti ma már a közvetlen rádiótelefon-összeköttetés a központi keverőtelep és a sok km-rel távolabb levő beépítési hely között. Mindenesetre a tehergépkocsik zavartalan és menetrendszerű munkájára különös gondot kell fordítani.

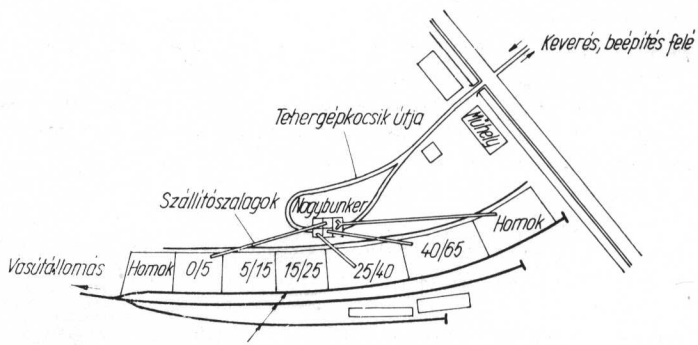
7.5.1.2. Adalékanyag-szállítás és helyszíni betonkeverés

A másik főmódszer esetén a helyzetet a 7-53. ábra mutatja az anyagfogadó állomáson, a nagybunkeres rendszerű adagolás esetén. Az iparvágány mellett ismét frakciónként elválasztott halmokban tárolják az adalékanyagot. Innen vagy több közvetlen szállítószalaggal töltik a nagybunker rekeszeit, vagy pedig gumikerekes kanalas rakodók rakják az anyagot egy bányaszállító szalagra, amely ismét egy 6 rekeszes magas nagybunkert, adagolósilót tölt meg. Természetesen itt is korszerűbb megoldás az, ha az egy alagútban vezetett szállítószalag vezet a depóniasor alatt, s ezt gravitációsan lehet táplálni. Az adagoló nagybunker alá álló tehergépkocsi, amelynek szekrénye pl. 4 részre van osztva, keverési adagonként lehetőleg súly szerinti mérlegeléssel kapja meg a szükséges frakciókat az előírt arány szerint. Régebben az egy-egy keverési adag adalék mellé a megfelelő mennyiségű egész zsákos cementet is mellé tették. Ma helyszíni keveréskor is silócementet alkalmaznak, zsák nélkül. A tehergépkocsik (régebben sokszor munkavágányon haladó csillesorok) az adalékanyagot keverési adagonként összeállítva a beépítés helyére viszik, s ott a helyszínen mozgó keverőgép puttonyába ürítik.

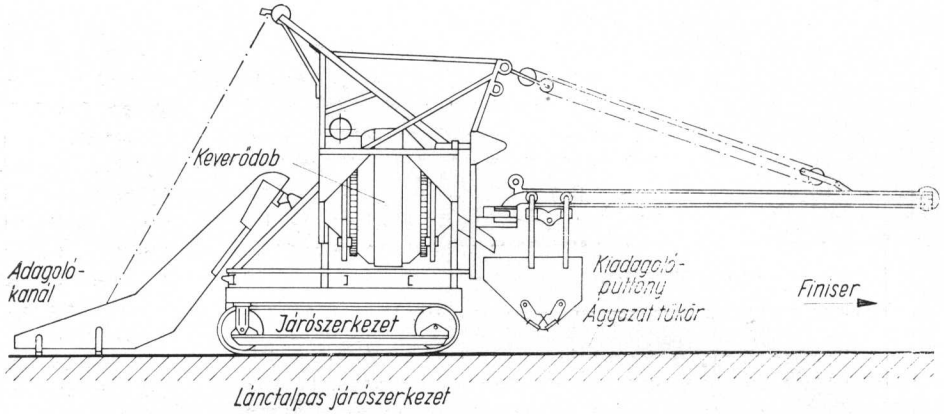
A helyszínen mozgó keverőgép nálunk igen sokáig 750 vagy 1500 l-es Ransome-típusú hernyótalpon mozgó önjáró betonkeverőgép volt, amely az előkészített úttükörben mozgott közvetlenül a bedolgozógép (finiser) előtt, s az adalékanyagot hátulról vagy oldalról kapta a tehergépkocsikról (7-54. ábra). A keveréshez szükséges nagy mennyiségű vizet elég nehéz a helyszínen tárolni, ezért vagy végig vízvezetéket kell fektetni, vagy nagy vízszállító gépkocsikat kell alkalmazni.

A tükörben mozgó keverőgép ma már nem korszerű és nem használatos. A bedolgozógép előtti szakaszon ugyanis a hullámmentes, sima *finom tükröt* kell kialakítani (pl. bitumenes homokrétegből); ezt a tükörbe mozgó betonkeverőgép megakadályozza. Amellett ezen keverőgépek teljesítménye is kicsi volt, kb. 20 m³/h. Emiatt a bedolgozógép nem dolgozhatott folyamatosan, hanem igen sokat állt.

A külföldi mai korszerű helyszíni betonkeverőgépek *nem a tükörben, hanem oldalt*, az elegendő széles padkán, leállósávon vagy az autópályák középső sávjában mozognak hernyótalpon. Így szabadon hagyják a finom tükröt, s a megkevert betont oldalról adják be a tükörbe, ill. az elosztógépbe. A külföldi újabb ilyen típusú mozgó keverőgépek teljesítménye már igen nagy, akár 60...120 m³/h, ami a bedolgozógép (finiser) folytonosabb üzemét is képes már elősegíteni.



7-53. ábra. Nagybunkeres adalékanyag-deponia, helyszíni betonkeverés ellátásához (1960 előtti jellemző hazai gyakorlat)



7-54. ábra. Úttükörben mozgó lánctalpas helyszíni betonkeverőgép (1960 előtti jellemző hazai gyakorlat)

A helyszíni betonkeverés előnyei a következők:

1. A helyszínre szállított adalékanyag-keverékek a torlódás, időzavar, tehergépkocsi vagy finiser üzemzavar esetén nem mennek tönkre mint a kész beton, így a rendszer szervezési szempontból nem olyan kényes.

2. A helyszíni keverés esetén elesik a beton szétkeveredésének veszélye is, ezért az adalékanyag sokkal nagyobb szállítási távolságról is hozható. Ezzel a költséges fogadóállomás hatásköre is nagyobb és kedvezőbb lehet.

A helyszíni betonkeverés hátrányai a következők:

1. A helyszíni betonkeverésben — hacsak nem a legmodernebb, legújabb mozgó keverőgéptípusokat alkalmazzuk — a betonminőség nincs annyira szavatolva, mint a központi keverőtelepen; a pontos vízadagolást, a pontos keverési időt sokszor nem tartják be, s ekkor a beton minősége változóbb lehet.

2. A tükörben mozgó keverőgép nehézséget okoz a korszerű alap felső rétegének végső kialakításában (bitumenes homok).

3. Az oldalt mozgó betonkeverőgép számára jelentős oldalsávszélesség szükséges a mozgáshoz, valamint az adalékanyagot hozó gépkocsi részére is. Ezért az építendő burkolat mellett legalább 5...6 m széles helysávra van szükség.

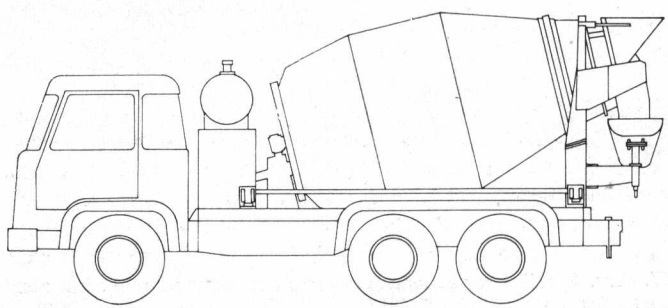
4. A keverés vízellátása a távoli helyszínen nehézkes és drága, akár végig lefektetett vízvezetékekkel, akár vízszállító tartálykocsikkal végzik.

7.5.1.3. A keverő—szállító gépkocsikkal való betonútépítés

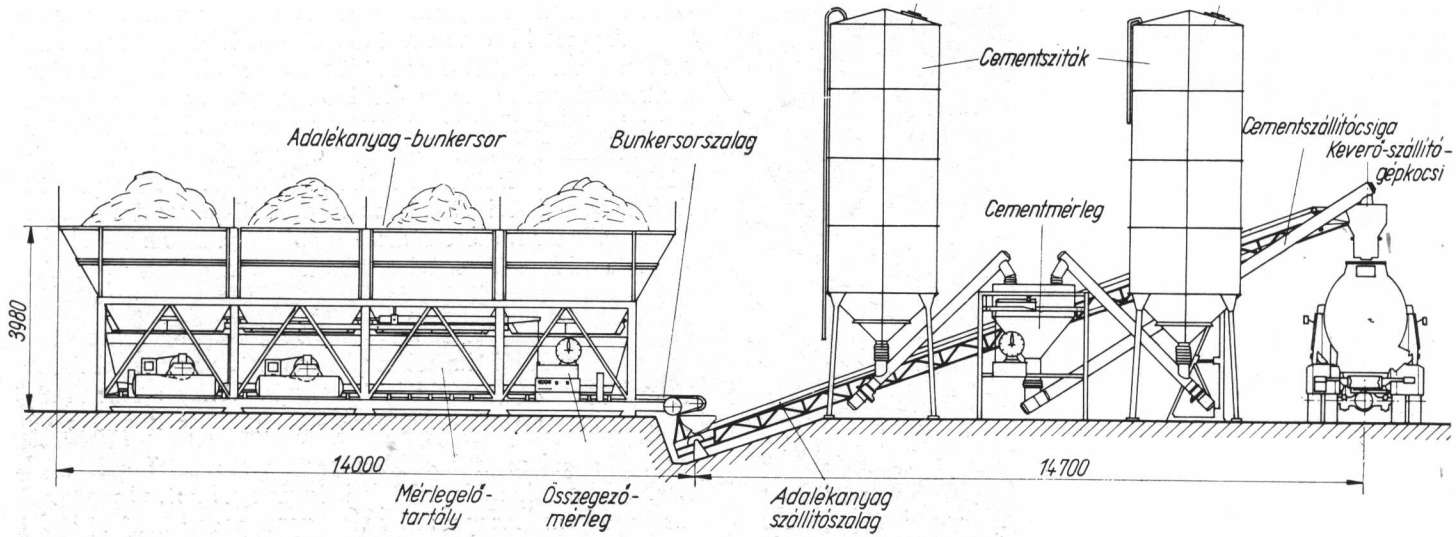
Az újabb időkben számos országban elterjedtek, néhol nálunk is használatosak a betonkeverő—szállító gépkocsik, amelyek 4...6 m³ betont képesek szállítás közben megkeverni (7-55. ábra). Ez a rendszer az útépítésben is jól alkalmazható. A 7-56. és 7-57. ábrákon egy-egy olasz berendezés látható a keverő—szállító gépkocsik automatikus és teljesítőképes, amellett kifogástalan betonösszetételt adó kiszolgálására. A depóniákról vagy homlokrakodóval, vagy gravitációs úton táplálják a 4...6 rekeszes adagoló bunkersort. Ez eltérő az aszfaltkeverő-telepek előadagolóitól: itt egy közös alsó tartályba minden frakció egymás után súlyméréssel kerül be, az összegező mérlegelés elvén. Csak a súlymérlegelés után nyílik az alsó mérlegtartály alja egy szállítószalagra, amely a kívánt súlyú keveréket a keverőgépkocsi szállítótartályába adja. A cementsilókból a cementet egy külön súlymérlegen mérik adagonként, s a cementadag ezután egy szállítócsigán kerül a keverőgépkocsiba, amelynek külön víztartálya is van, s a vízadagolása pontos. Így a keverő—szállító gépkocsi által készített és szállított beton minősége jó.

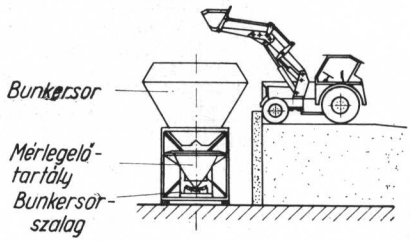
A módszer *előnyei:*

1. A betonminőség egyenletes és független a szállítási távolságtól, szétkeveredési veszély nincsen, azért a depóniatelepet jóval nagyobb építési hossznál lehet kihasználni.

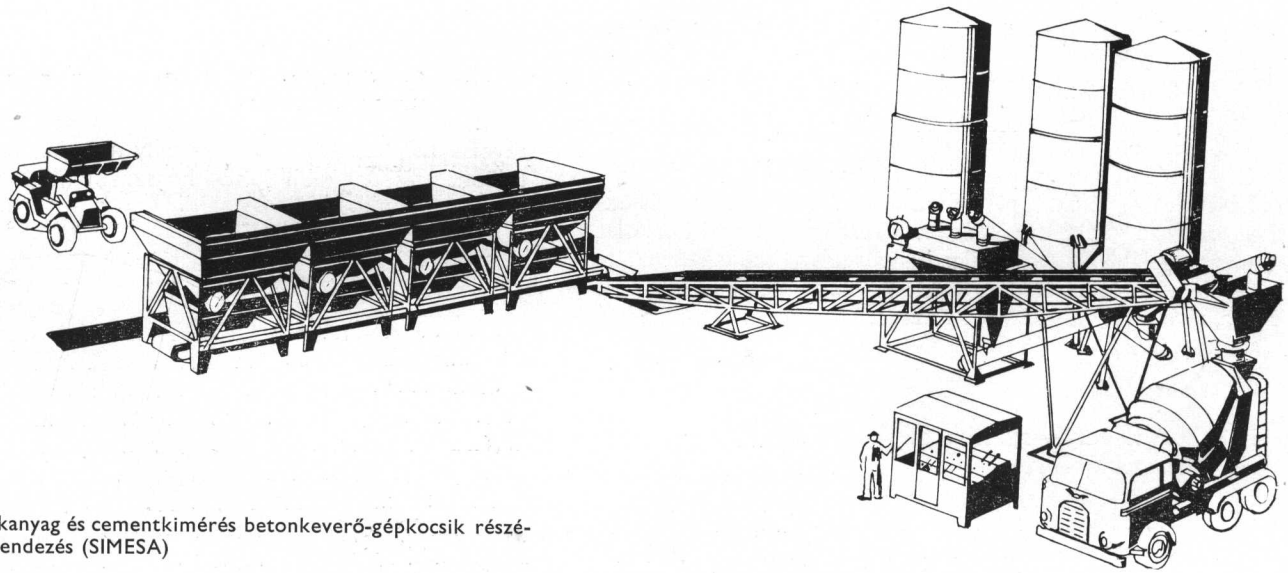


7-55. ábra. Betonkeverő-szállító gépkocsi, 4...6 m³ betonkeverékhez

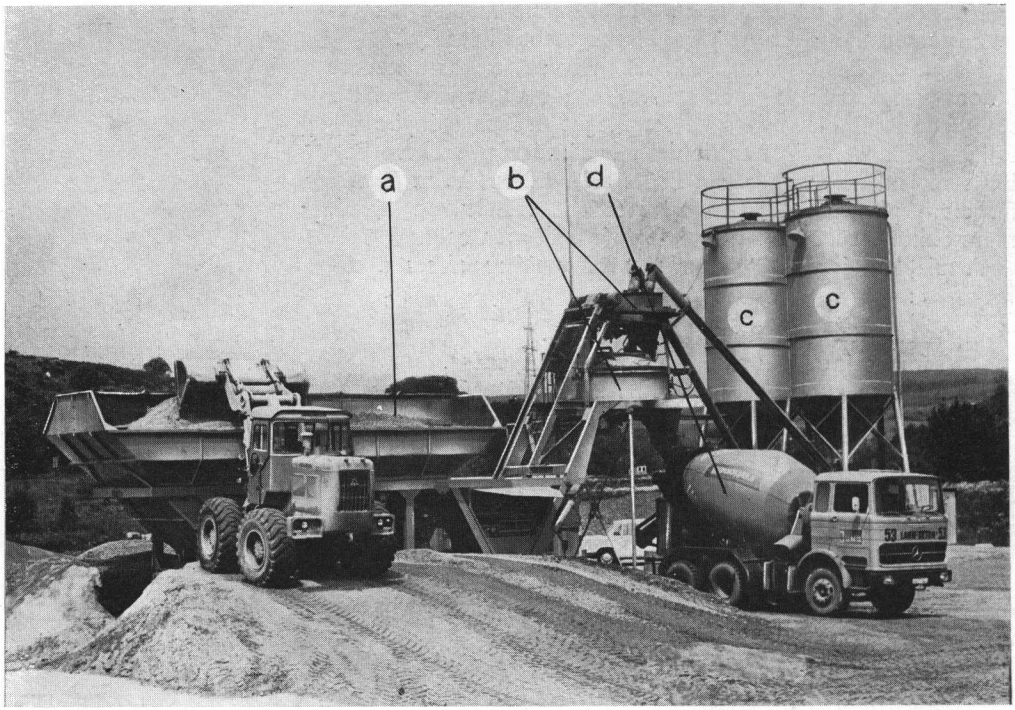




7-56. ábra. Központi telep adalékanyag és cement keverési adagonként való mérlegelésére, betonkeverő és szállító gépkocsik kiszolgálására. Az adagolóbunkerek töltése és kiszolgálása magasabb szintről előnyösebb



7-57. ábra. Adalékanyag és cementkimérés betonkeverő-gépkocsik részére, egyszintes elrendezés (SIMESA)



7.6 kép. *Vögele*-rendszerű központi telep betonkeverő-szállító gépkocsik kiszolgálására *a)* előadagoló, *b)* mérleg-előkeverő, *c)* cementsilók, *d)* betonkeverő-szállító gépkocsik

2. A rendszer szervezési szempontból igen rugalmas, torlódás, időzavar, finisergéphiba esetén a keverési adagok nem mennek tönkre.

A módszer *hátrányai:*

1. Csak akkor gazdaságos a rendszer, ha a jelentős számú keverő—szállító gépkocsit jól ki lehet használni, ill. az évnek a betonburkolat-építésen kívüli időszakában más betonozási célra használhatók.

2. A betonkeverő—szállító gépkocsik ürítése viszonylag lassú (3 min); általában a rendszer főleg közepes teljesítmények esetén mutat gazdaságosságot.

7.5.2. Betonburkolat-építés formasines rendszerű géplánccal

A betonburkolat-építés hagyományos módszerének számít a formasínen és járósíneken haladó géplánccal való munka. Bár a másfél évtizede terjedő csúszózsalus építési módszer újabb, s főleg kevésbé élőmunkaigényes, a formasínes módszerű építés ma is teljes mértékben korszerű módszernek számít, sőt a kiváló minőséget könnyebben és biztosabban lehet vele létrehozni, ha van az eljárásnak kellő hagyománya és tapasztalata. Látni fogjuk, hogy a formasínes vagy csúszózsalus építési módszer között országonként eltérő módon, teljes mértékben csupán gazdasági és szervezési szempontok szerint döntenek. A hazai betonútépítési dimenzióknál valószínű, hogy huzamos ideig megmarad a formasínes rendszerű géplánccal való munka.

7.5.2.1. Előmunkálatok, formasínfektetés és finom tükör készítése

A földmű teljes tömörítése után készül az alapréteg, ill. rétegek. Pl. stabilizációs géplánc végzi a cementes *talajstabilizációt* 15 cm vastagságban. Ennek megkötése után a meleg (NB-vel készült) *bitumenes kavics* elterítését és behengerlését végzik. Ezzel egy olyan pályaszerkezet jött már létre, amely az itt igen jelentős építési forgalmat képes lebonyolítani. Jó szervezés mellett még ugyanabban az évben, a tél beállta előtt elvégzik a betonburkolat építését is. A bitumenes kavicsréteg ekkor tehát nem lesz kitéve közvetlenül a fagynak és olvadásnak. Ezért az ilyen bitumenes kavicsot rendesen egy homokos kavicsbánya anyagából keverik. A szabad hézag, vízfelvétel nagyobb lehet (max. 12%-ig), mint amit az ÉKSZ a hajlékony burkolatok esetére előír. Más eset az, ha a bitumenes kavicsrétegnek a betonburkolat ráépítése előtt több évig kell viselnie az építési vagy más forgalmat, s egy vagy több tél fagyának repesztő hatását. Ekkor sokkal inkább

kell törekedni a zártabb szemeloszlású, jobb minőségű bitumenes kavics létesítésére, jóval kisebb szabad hézaggal.

Ha az *építési forgalom* a tükörben halad, akkor a kevert betont vagy adalékanyagot szállító nehéz tehergépkocsik a stabilizációt és bitumenes kavicsréteget erősen igénybe veszik, s különösen a hiányos földmunkatömörségű szakaszokon be is vágják, deformálhatják. Ezért előnyösebb, ha az építési forgalom pl. autópályákon a stabilizált leállósávon halad, mert ekkor a tükör minden deformációtól mentesül.

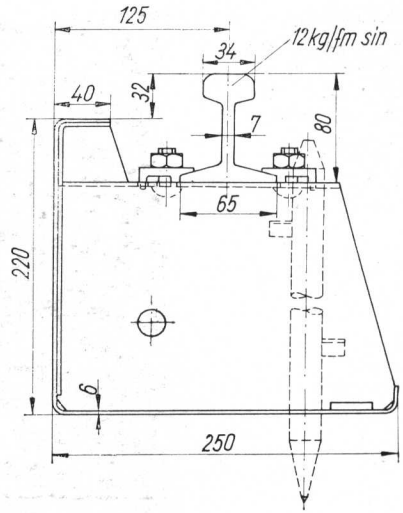
A tulajdonképpeni *betonburkolat építés előmunkálatai* a következők:

1. Az alapéteg javítása és kiegyenlítése.
2. A formasínek kitűzése és gondos elhelyezése.
3. A finom tükör végleges kialakítása (új réteggel vagy anélkül).

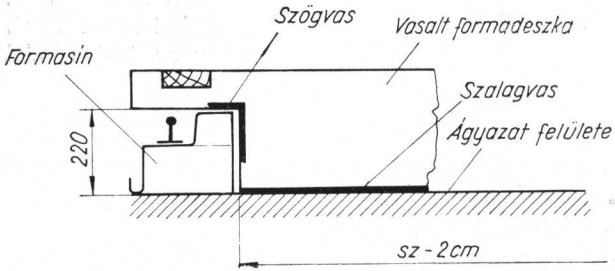
Az alap felső rétege ma rendesen a melegen kevert bitumenes kavics. Ha a munkahelyi forgalom ebben kárt tett, ki kell javítani kevert anyaggal, s úthengerrel megfelelő sík felületbe kell hozni.

A *formasínek* feladata az, hogy építés alatt a betonburkolat oldalsó zsaluzatát, lehatárolását adja, s megszabja egyúttal a lemez vastagságát is. Igen merev, jó terhelésátadó talppal hengerelt acélszelvényből készül, többnyire egybeépült a *járósínnel*, amelyen a betonbedolgozó-gép (finiser) és egyéb munkagépek a burkolatépítés során haladnak (7-58. ábra). A *forma- és járósíneket rendkívüli gondossággal, műszeres kitűzéssel kell fektetéskor beállítani és fektetve rögzíteni*, aláverni. Ezek kifogástalan helyzetétől függ nagymértékben ugyanis az elkészült *betonburkolat hullámmentessége*, valamint a terv szerinti magassági helyzete, oldalesése, a túlemelés-átmenetek kiképzése. A pontos vízszintes síkú kitűzés után *szintezéssel* igen gondosan be kell állítani a magasságokat is, az építési hossz-szelvény kész adatainak megfelelően, különösen ügyelve a túlemelés-átmenetekre és a túlemelés-szakaszokra. A forma- és járósínek magassági helyzetét *kevert bitumenes homoknak* az aláverésével, alátömörítésével kell beállítani és rögzíteni. A sínek 3,00 m hosszúak, a *hevederkötéseknél nem lehetnek lépcsők*. A finiser vagy betonelosztó előtt mindig legalább még 50...60 m kitűzött, elhelyezett járó- és formasín legyen. Elgörbült régi, lépcsős, rossz illesztésű forma- és járósínek jelentős hullámosodást okozhatnak a betonburkolat felületén.

A finom tükör kialakítása (tehát a leendő betonlemez alsó határoló felületének a beállítása) a már rögzített formasínekre támaszkodóan végezhető. Régebben pár cm finom homokréteggel képezték ki a finom tükröt (némely államban kátránypapír terítéssel). Ma *hidegen kevert bitumenes homokot* használnak erre a célra. Ezt átlag 2 cm vastagságban terítik, s középsúlyú úthengerrel tömörítik. A formasínre kifeszített huzallal és mércével ellenőrzik a magasságot (7-59. ábra). A hidegen kevert bitumenes homok magassága kiegyenlítőrétegként max. 4 cm lehet, ennél nagyobb magassági eltérést



7-58. ábra. Formasin és járósín 22 cm vastag betonburkolathoz



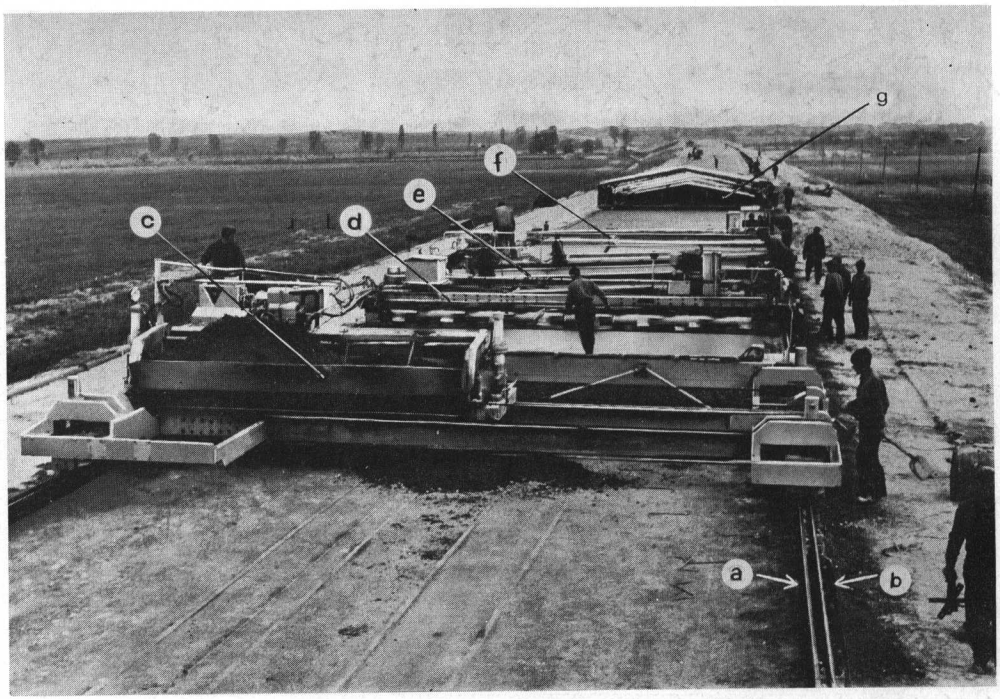
7-59. ábra. A tükör szintjének ellenőrzése a formasineken végigtolt vasalt profildeszkával

csak melegen kevert bitumenes kaviccsal szabad kiegyenlíteni. Ez a hazai gyakorlat.

Külföldön korszerű betonburkolat-építő gépláncoknál néha a finom tükör kialakítását is a járósínen járó *egyengetőgépek* (pl. forgó-terelőlapátos, hidraulikus mozgatású elosztógép) végzik, utána sínen járó *lapvibrátorokkal* (tükörfiniserekkel) tömörítenek. Ennél a módszernél ügyelnek arra, hogy a finom tükörbe a formasínek közé már se gép, se ember ne jusson be.

7.5.2.2. A betonburkolat-építő géplánc gépei és munkájuk

A betonburkolat-építő géplánc tagjai a következő sorrendben dolgoznak egymás után, a formasínek melletti járósíneken gördülve:



7.7 kép. Formasines *ABG*-rendszerű betonútépítő géplánc 8,5 m pályaszélességre az M-7 autópálya Polgárdi—Siófok szakaszán. (Betonútépítő Vállalat) *a)* formasin, *b)* járósín, *c)* betonelosztógép, *d)* nivelláló-finomegyengető gép, *f)* munkahézag-szélvibráló berendezés, *g)* munka és védősátorok, közöttük utánkezelő védőfilm permetező híddal. (Lásd a 7.8—7.14 képeket)

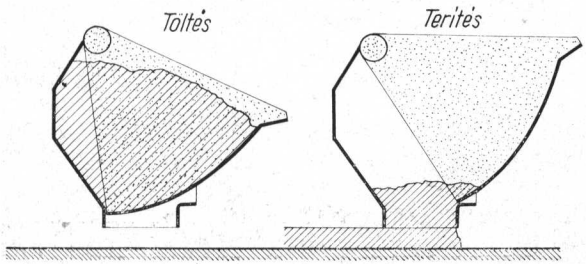
a) *Egyrétegű* betonburkolat esetén:
   1. betonelosztó terítőgép;
   2. betonfiniser bedolgozógép;
   3. hézagvibrálógép;
   4. nivelláló finomegyengető gép.

b) *Kétrétegű* betonburkolat *nagy* teljesítmény mellett:
   1. betonelosztó terítőgép az alsó réteghez;
   2. betonfiniser az alsó réteg tömörítésére;
   3. betonelosztó terítőgép a felső kopóréteghez;
   4. betonfiniser a felső kopóréteghez;
   5. hézagvibrálógép;
   6. nivelláló finomegyengető gép.

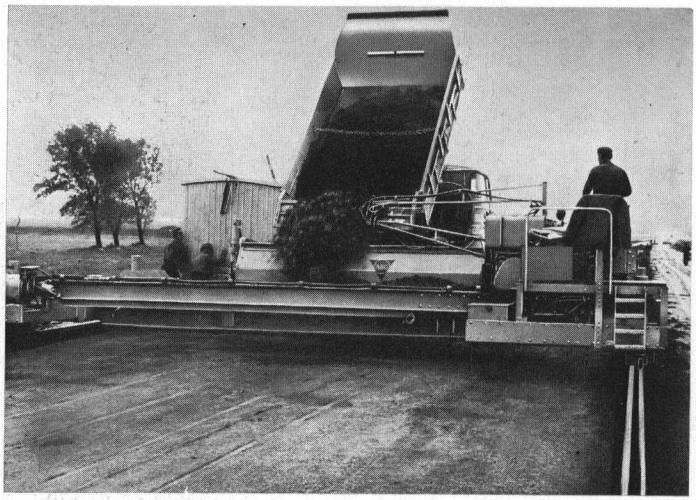
c) *Kétrétegű* betonburkolat, *kis—közepes* teljesítmény mellett: ugyanaz a kisebb géplánc, mint az egyrétegű betonburkolat esetén, de a betonelosztó és a betonfiniser szakaszosan visszaállva kétszeresen működik. Először az alsó réteget terítik és tömörítik, kb. 40...50 m hosszban, majd visszaállnak, s a felső réteg betonját terítik és tömörítik be. Fontos, hogy az alsó réteg friss betonjára *még egy órán belül* kerüljön rá a felső réteg friss betonja, hogy a tökéletes együtt dolgozás és a két réteg összekötése teljes legyen.

A fenti három esetben is külön-külön mindig a *betonfiniser, a bedolgozógép* a géplánc vezérgépe, ill. optimális szervezés esetén ennek kellene lennie. A hazai gyakorlatban a keverőtelep kapacitása túl kicsi, s az előrehaladás ütemét a keverőgép határozza meg, s ezért a betonfiniser viszonylag sokszor áll. Amíg egy kb. 50...60 m³/h teljesítményű betonkeverővel a napi előrehaladás a hazai tapasztalat szerint 7,50 m széles burkolatnál *max. 300...350 m volt*, addig nagyobb keverőgépeknél a vezérgép valóban a finiser, s *napi 600...700 m* maximális teljesítményt érnek el, a kétrétegű burkolat kettős gépláncával (fenti b) eset) pedig napi 1000 m-t is teljesítettek már. A következőkben a géplánc tagjait egyenként ismertetjük, elsősorban a Magyarországon az autópálya-építésben használt, Európa-szerte legjobban elterjedt, korszerű típusú *ABG gyártmányú* formasínes rendszerű gépláncot alapul véve.

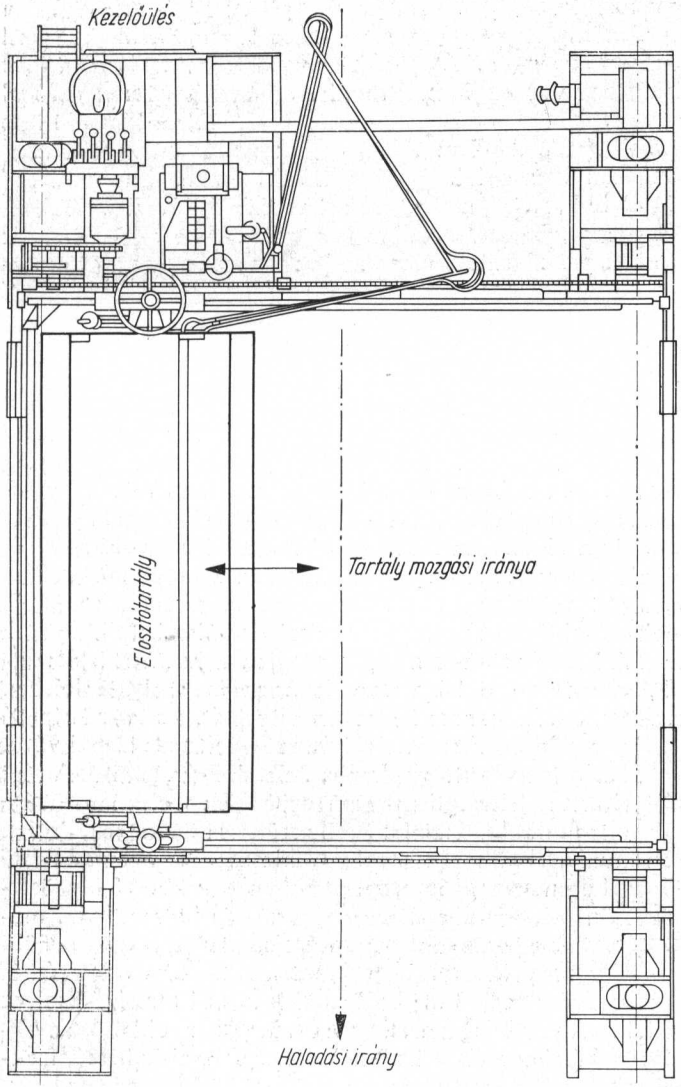
1. *Betonelosztó terítőgép* (7-60., 7-61. és 7-62. ábrák). A régi kézi elterítés hátránya a beton egyenlőtlen előtömörödése volt, mivel a betont közvetlenül a tükörre ürítették, és sok kézi munkával villázták közel egyenletes rétegbe. A *BV-585* típusú betonelosztógép ezzel szemben egy kb. 14 Mp összsúlyú, önjáró, 45 LE-s Diesel-motorral és hidraulikával működtetett és egy ember által vezérelt, a járósíneken gördülő gép. Egy nagy keretalvázon vannak a motor és a járómű. Fő alkotórésze egy 3 m³ befogadóképességű tartály, amelyet kétféle helyzetben szerelhetnek fel. Akár oldalsó anyagellátással (tehergépkocsiról oldaldöntéssel), akár hátsó, frontális anyagellátással (tehergépkocsi a tükörben megfordulva, hátradönti a kész betont) működtethető. A keretben mozgat-



7-60. *ábra.* Betonelosztó tartályának töltési és terítési helyzete (ABG)

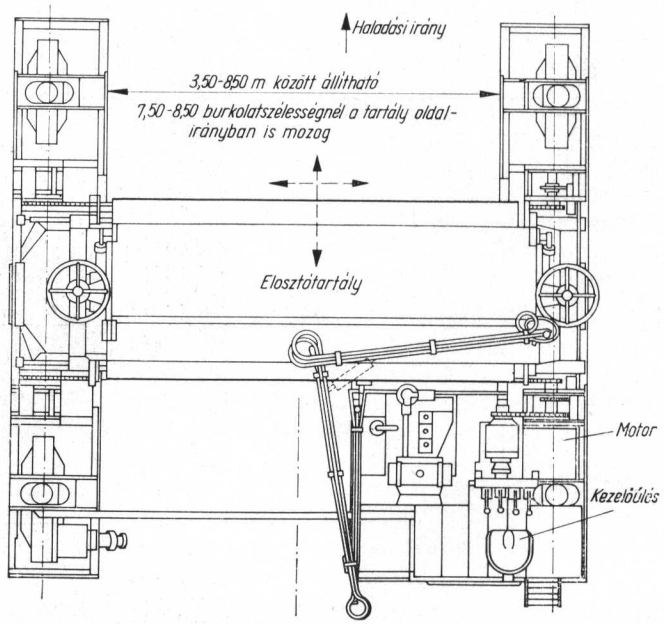


7.8 kép. Betonszállító gépkocsi az ágyazaton mozogva a betonelosztógép tartályába ürít



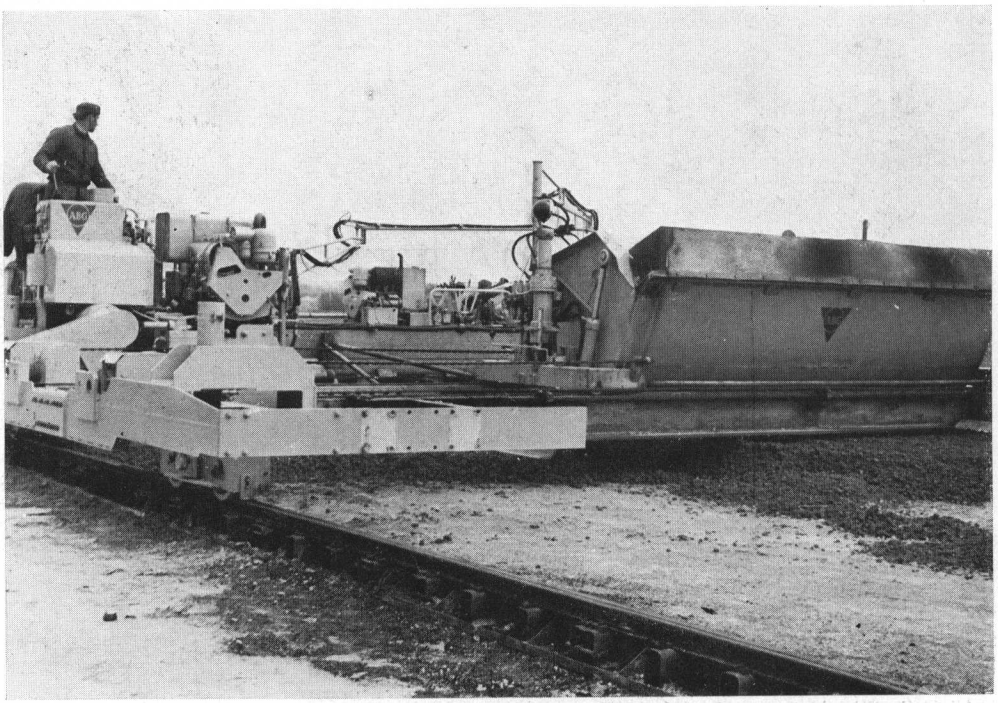
7-61. *ábra.* Betonelosztó-kocsi oldalsó anyagellátással

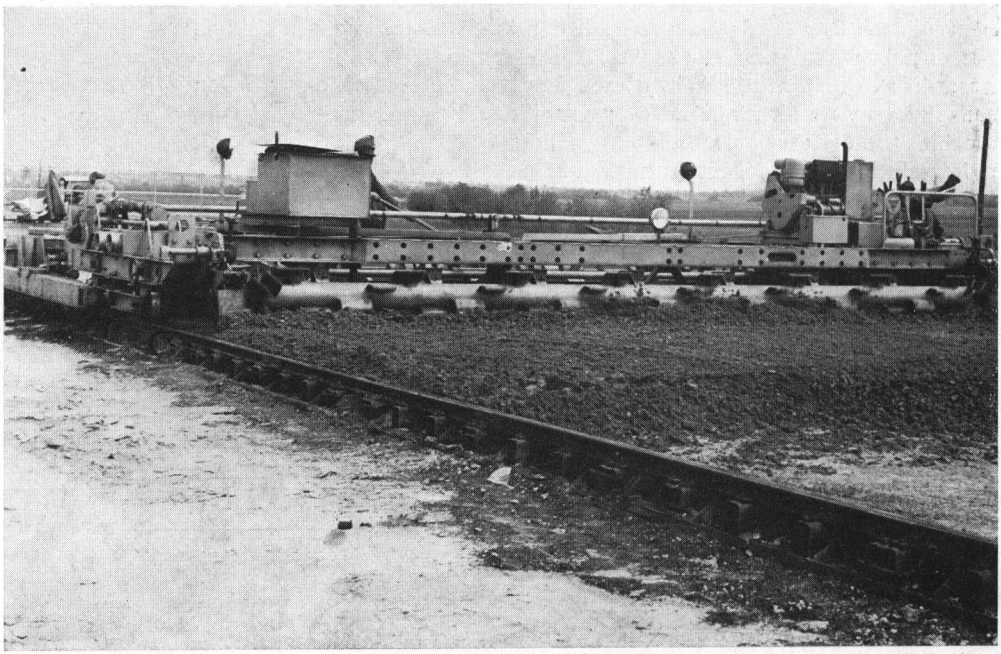
ható a betonelosztó-tartály hossz- és oldalirányban is, emellett a keret is haladhat. A tartály alsó részét hidraulikusan lehet nyitni, s egy előre beállított magasságra a betonelosztógép egy teljesen egyenletes vastagságú és főleg egyenletes tömörségű betonréteget terít el. A gép előnye nemcsak a jelentős munkaerő-megtakarításban van, hanem nélkülözhetetlen a *betonfelület egyenletességének, hullámmentességé-*



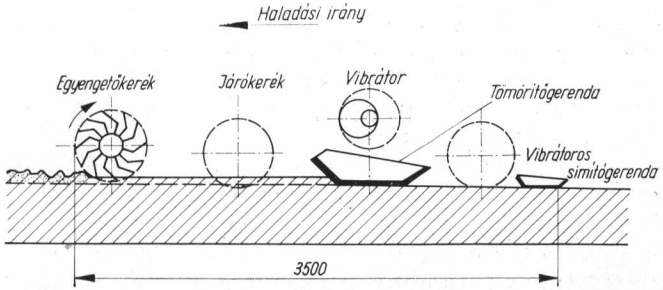
7-62. *ábra.* Betonelosztó-kocsi hátsó (tükörből való) anyagellátással

7.9 kép. *ABG* típusú *BV-505* betonelosztógép a friss betont egyenletes vastagságban, azonos tömörséggel teríti el





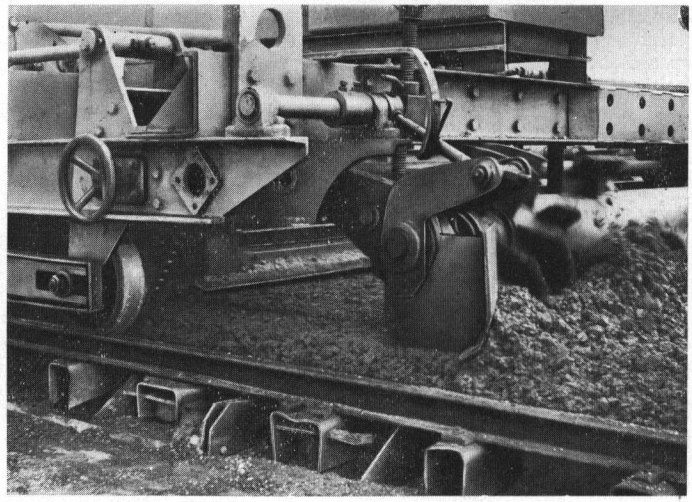
7.10 kép. *ABG* típusú 8,5 m széles *VAS-500* betonfiniser-bedolgozógép elölnézete



7-63. ábra. A vibrációs betonfiniser működési elve és fő részei: *a)* egyengetőkerék; *b)* vibrációs tömörítőtag; *c)* simító gerenda

nek létrehozásában is. Feltétlenül meg kell oldani azonban, hogy az elosztógéppel elterített laza betonrétegre már ne tudjanak rálépni, s ne legyen szükség arra, hogy az elterítést lapáttal korrigálják (mint a betonelosztógép bevezetésének első időszakában).

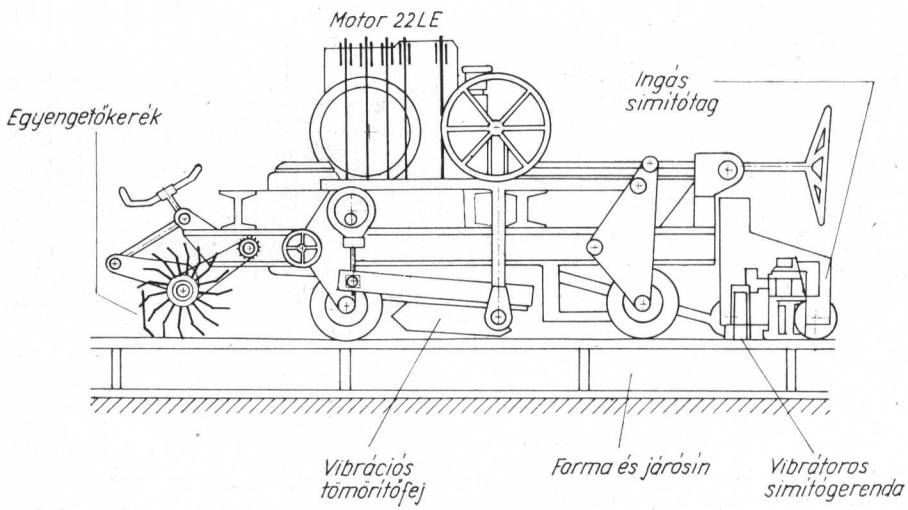
2. *Betonfiniser bedolgozógép* (7-63. és 7-64. ábra). A mai betonfiniserek mind vibrációs elven dolgoznak. Az *ABG-VAS 500* típusú betonfiniser ismét síneken önjáró, kb. 15 Mp súlyú, 22 LE-s Diesel-motorral működtetett gép, amelynek három fő munkarésze van: *a)* az *egyengető kerék* sugárirányú tört lapátsort forgat úgy, hogy az elterített betont pontos magasságra állítja be; *b)* a *vibrációs tömörítőtag* lényegében egy nagy lapvibrátor, amely 67 Hz frekvenciával dolgozik, s max. 50 cm vastag betonlemezt képes jól tömöríteni. A vibrációs tömörítőtag azonban nem csupán vibrál, hanem egyúttal folytonos bólintó és lépegető mozgást is végez annak érdekében, hogy a betömörített beton felületén a hajszálrepedések bezáruljanak és a betontömörítés közben a levegő jól távozhasson; *c)* a *simító gerenda* a harmadik egység, amely gerendahossz-irányú fűrészelő, s haladó mozgásával a felületet teljesen síkká nyírja és simítja. A tapasztalat szerint a tömörített betonfelületet sztatikus nyírással, fűrészeléssel csak nagy erővel lehet alakítani, viszont ha közvetlen mellette vibrálják is a betont, akkor a nyírási ellenállás erős csökkenése miatt a betonfelület sokkal kisebb erővel alakítható. Ezért a simítógerenda első része egy vibrációs gerenda, második része pedig a simító—fűrészelő mozgást végző felület.



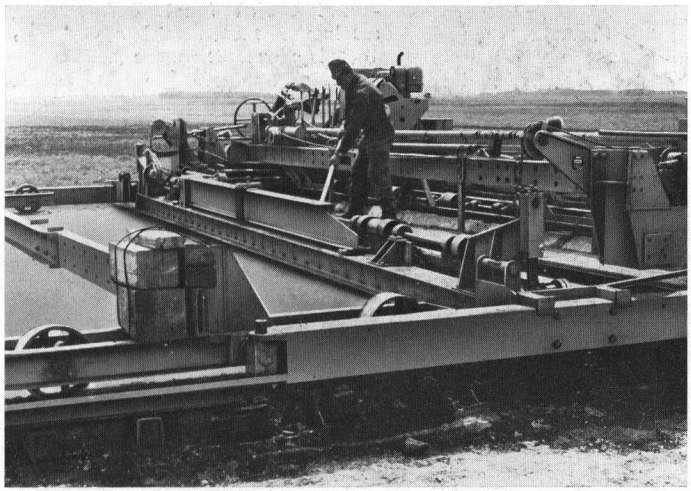
7.11 kép. A betonfiniser forgó lapát sora egyenletes szintbe szabályozza a friss betont, utána a vibrációs lemez megadja a főtömörítést

(Megemlítjük, hogy a legutóbbi évekig a ma már külön gépegységet képező nivelláló finomegyengető a finiser keretével egybe volt építve a 7-65. ábra szerint.)

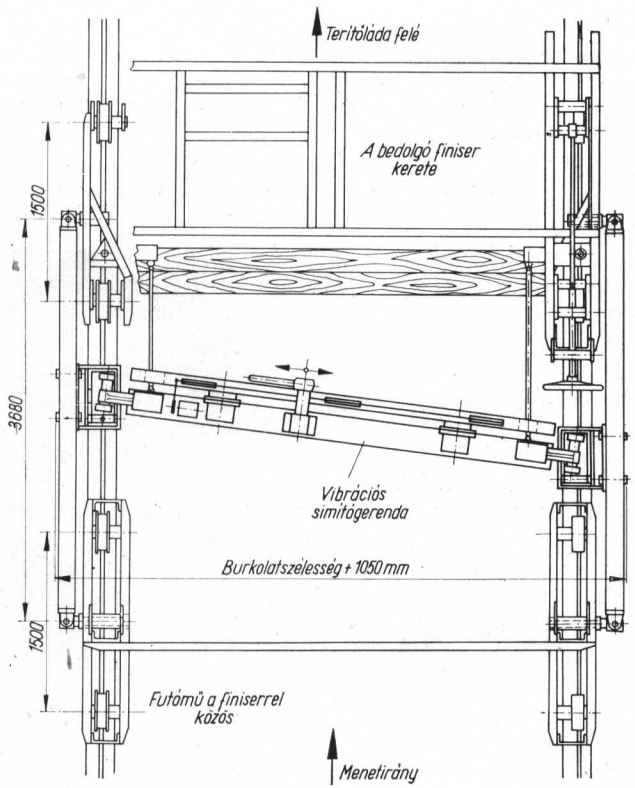
A finiser vibráló munkasebessége 0,7...1,4 m/min, járósebessége vibrálás nélkül 6...12 m/min. Régebben szokásban volt a finiserrel többször visszaállni és többször végigvibrálni a bedolgozandó betont. Erre egyrészt a régebbi túl habarcsszegény és durva, nagyszemű, kevéssé plasztikus beton nehéz bedolgozhatósága adott okot, mert a zárt felületet nehezen lehetett egy menetben kialakítani, másrészt a kis teljesítményű keverőgép miatt a finiser sokat állt, s volt elegendő idő többször is oda-vissza járni. A helyes munkamód-



7-64. ábra. Az ABG finiser oldalnézete



7.12 kép. A betonfiniser hátulról. A keretben kissé ferde irányban mozgó vibrátoros lehúzógerenda a felületi egyenletesség első biztosítéka



7-65. ábra. Régebbi típusú, finiserrel összeépített, kissé ferde állású diagonál-utánsimítógerenda (ABG)

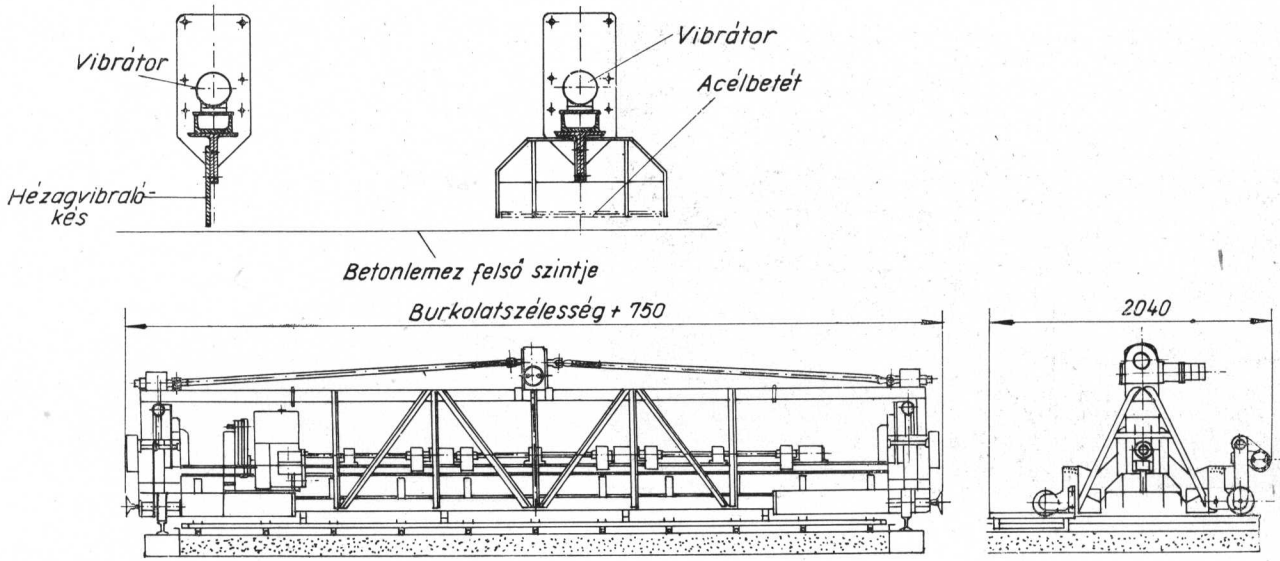
szer azonban az, hogy a betont egészséges habarcstartalmú, jól bedolgozható konzisztenciájú összetétellel állítják elő; akkor el lehet és el is kell érni azt, hogy a *finiser egyetlen tömörítő menetben képes legyen véglegesen betömöríteni és zárt felülettel kialakítani a betonburkolat felületét.* Ha egy menettel nem lehet zárt, jó felületet elérni, akkor nem a többszöri egymásutáni finiserjárattal kell erőltetni a felületzárást. Az egyenlőtlen és nehezen bedolgozható beton esetén a többszöri vibrátoros finisermenetnek az lehet az eredménye, hogy a túlvibrálás a habarcsot a betonlemez felső rétegébe emelve zárt felületet ad ugyan, ez a felület azonban kisebb szilárdságú, fagyra érzékeny és kopási ellenállása is kisebb. Ezért tehát *ha egy finisermenettel nem lehet zárt, jó betonfelületet elérni, akkor a többszöri finisermenet helyett feltétlenül a betonösszetételt, a beton bedolgozhatóságát kell megfelelő szakszerű módon javítani, a húzószilárdság kellő szinten való tartása mellett.* Ezért a betonfiniser mellett napjában többször szükséges a beton bedolgozhatóságát és konzisztenciáját a roskadási vizsgálattal és célszerűen a francia vibrátoros bedolgozhatóságvizsgáló készülékkel (356. oldal) ellenőrizni.

3. *Hézagvibrálógép.* Az ABG-nek az *FVD 460* jelű kb. 2,5 Mp súlyú, 10 LE-s Diesel-motorral működtetett önjáró hézagvibrálógépét a 7-66. ábrán látjuk. Két feladatot old meg. Ha a kereszthézagok (akár vakhézagok, akár terjeszkedési hézagok) teherátadó vasbetétekkel készülnek, akkor ezeket a vasbetéteket külön előzetes elhelyezés, kötözővasakkal való elkészítés nélkül, a már betömörített betonba felülről bevibrálja pontosan a tervezett mélységbe. (A gépnek ez a művelete hazánkban és ma már sok államban a vakhézagok esetén szükségtelen, mivel vakhézagok teherátadó vasbetétek nélkül készülhetnek, ha kötött bitumenes kavics az alap és a terjeszkedési hézagokat erősen ritkítják vagy megszüntetik.)

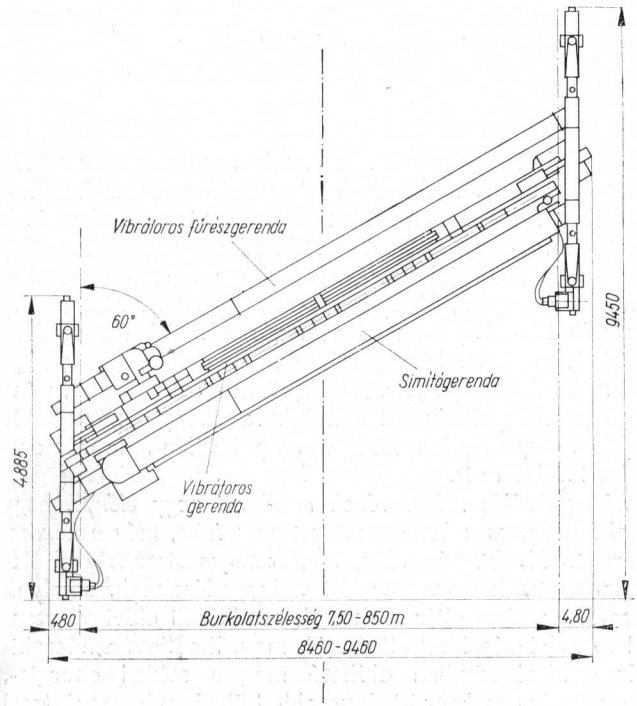
A gép nagyobb jelentősége az, hogy lehetőséget ad a *kereszthézagok gyors, könnyű és gazdaságos bevibrálására.* A gép emelhető—süllyeszthető vibrátoros rúdjára megfelelő vastagságú, a burkolatszélességnek megfelelő hosszúságú kés szerelhető, amelynek vastagsága 2 mm-rel nagyobb, mint a friss betonban elhelyezni szándékolt műanyag hézagbetét vastagsága. Ugyanígy lehetőség van a polietilén-fólia már említett bevibrálására is.

A hézagvibrálás módszerének rendkívül nagy előnye, hogy azonnal létrehozza a keresztmetszet-gyengítést, még a kezdeti betonzsugorodás fellépése előtt, s ezért teljes biztonsággal elejét veszi azoknak a zsugorodási vadrepedéseknek, amelyek a hézagfűrészeléses eljárásban csak rendkívüli elővigyázatossággal és nehézségekkel előzhetők meg. Emellett a hézagkiképzés gazdaságosabban oldható meg a sokkal energia-, anyag-, gép- és munkaerő-igényesebb, költséges hézagvágással szemben.

A hézagvibrálás hátránya kizárólag abban állt régebben, hogy a felület a bevibrált hézag, ill. az abban elhelyezett műanyag betét mellett elvileg kissé felnyomódhat kétoldalt.



7-66. *ábra.* Hézagvibráló, elhelyező és bevibráló célgép (ABG-FVD 460)

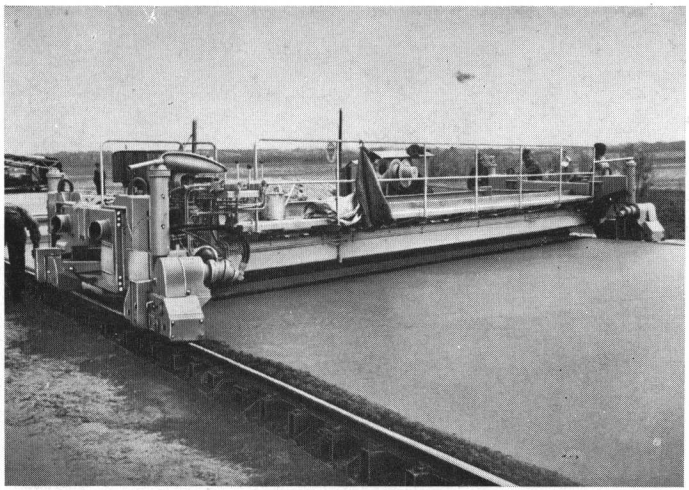


7-67. *ábra.* Újabb típusú önjáró nivelláló-simítóberendezés 30° ferdeséggel elhelyezett vibrofűrész, vibrogerenda és sztatikus simítógerenda. A finiser által még meghagyott felületi egyenetlenségeket töredékükre (1/16 részre) csökkenti (ABG)

Ez a jelenség azonban — bár önmagában is kicsi a vakhézagoknál — teljesen megszűnik ma már, mivel a géplánc következő tagja, a nivelláló finomegyengetőgép a bevibrált teherátadó vasak vagy a bevibrált hézagok felett áthalad, s hibátlanul sík felületet hoz létre.

4. *Nivelláló finomegyengetőgép (ABG-NG).* A betonfelület egyenetlenségét (hullámosságát) a tömörítés után, tehát a betonfiniser elhaladása után a következők okozhatják: a járó- és formasínek fekvésénél és illesztéseinél adódó pontatlanságok, az egyenetlen betonkonzisztencia, a bevibrált hézagok és teherátadó vasak felületi nyomai, s főleg a finiser többszöri kényszerű megállásai. Mindezen okok hatásai legnagyobbrészt igen erősen lecsökkenthetők vagy megszüntethetők az önjáró nivelláló finomegyengetőgép munkájával (7-67. ábra). A gép súlya kb. 9 Mp, egy 25 LE-s Diesel-motor működteti. Lényege, hogy az egyengető—simítógerendát a két járósínen két 5...5 m hosszú, 8...8 kerekes kiegyenlítő alvázas járószerkezet támasztja alá, egymástól hosszirányban erősen eltolva, mert az egyengető—simítógerenda a hossztengellyel 60°, ill. 30°-ot zár be. A kiegyenlítő alvázas járómű a magassághibákat 1/16 részre képes csökkenteni. A gerenda erősen ferde helyzete (diagonálsimító) azért előnyös, mivel a bevibrált hézagokat, ill. hézagbetéteket így nem ferdíti, dönti meg, hiszen a hézagnak mindig csak egyetlen pontján halad át, s csak az érintkezési áthaladási pont mozog a hézagon oldalirányban.

A simító—egyengetőgerenda két részből áll: először egy vibrációs lemezkés levágja, lefűrészeli a lemezfelület egyenetlenségeit, mellette a sztatikus simítógerenda pedig a végleges és teljes betonfelület-zárást hozza létre. A két gerenda külön-



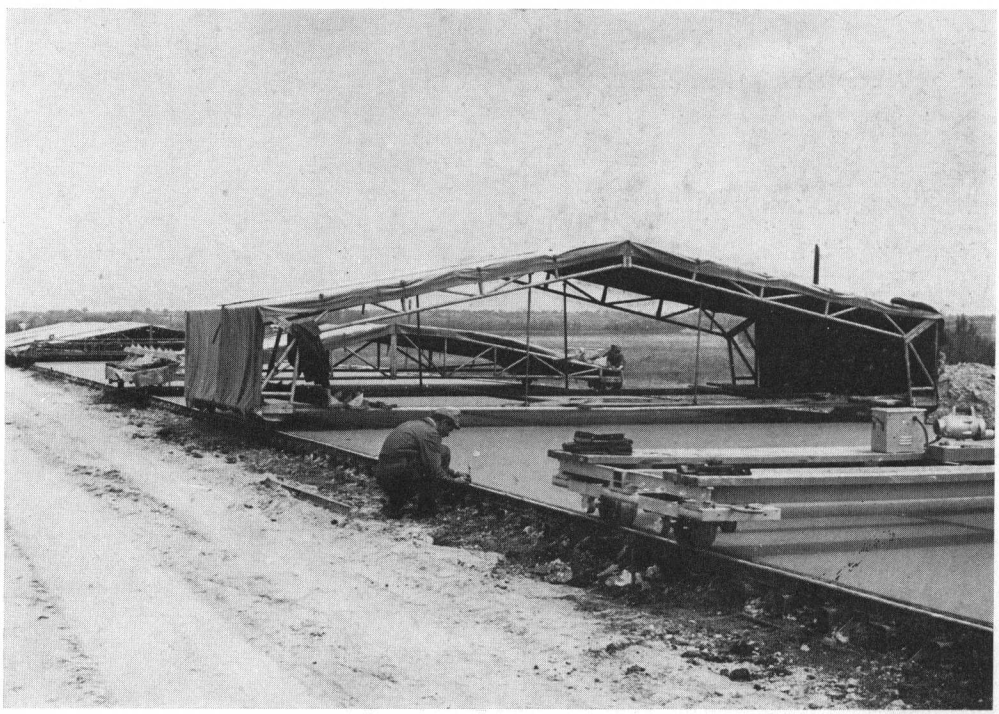
7.13 kép. *ABG—NG* típusú ferdeállású önálló nivelláló-egyengetőgép vibrátoros lehúzógerendája a felületi egyenletesség második biztosítéka

ben ingamozgást, ill. fűrészelő mozgást végez a gerenda hosszirányában, 12 cm kilengéssel, percenként 40-szer. A vibrátorgerenda frekvenciája 63 Hz, azaz $n = 3800$ f/min. A haladva fűrészelő vibrátorgerenda előtt a levágott, ill. feltorlódott beton-, főleg habarcsréteget hosszirányban mozgatható géplapát folyamatosan eltávolítja.

Az önjáró külön gépegységként működő nivelláló finomegyengetőgép (7-67. ábra) sokkal hatásosabb, s a felületi hibákat sokkal jobban lecsökkenti, mint a 7-65. ábrán látható régebbi megoldás, ahol a kisebb szögben elrendezett vibrátoros simítógerenda a betonfiniserrel közös járókeretre került. Így nem volt mód a 16 kerekes kiegyenlítő járómű egyenetlenségcsökkentő hatásának érvényesülésére, másrészt nem volt mód a betontömörítés és a végső felületsimítás közé beiktatni a *külön hézagvibrálást*, ill. a hézagvibráló gép munkáját.

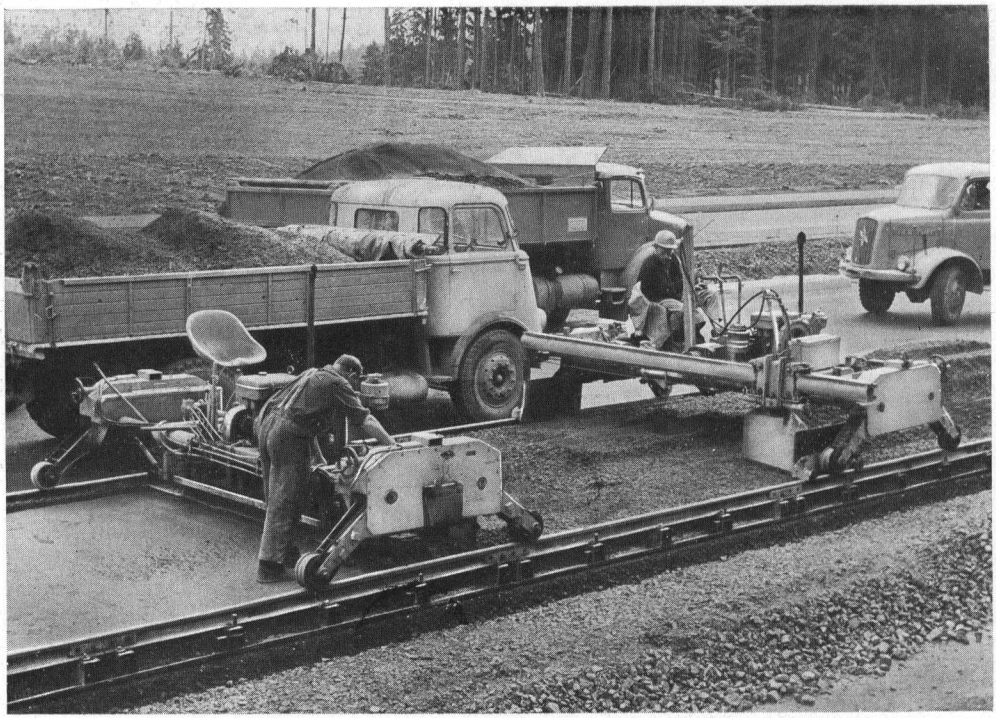
Figyelembe kell azonban venni azt, hogy a nivelláló finomegyengetőgéppel a gyakorlatban jól elérhető 3 mm alatti egyenetlenségmagasságokat csak akkor lehet huzamosan megvalósítani, ha a bedolgozott és finoman lesimított *beton anyaga állandóan azonos összetételű, azonos konzisztenciájú, azonos víztartalmú*. Ha ugyanis ezen jellemzők jelentősebben ingadoznak a beépítés folyamán, akkor hiába készít a finomegyengetőgép tökéletesen sík felületet, a betonlemez különböző részein különbözőképpen köt és zsugorodik a betonlemez magassági értelemben is, a különböző összetételnek, víztartalomnak megfelelően, s akkor a betonlemez felülete később válik viszonylagosan egyenetlenné, hullámosabbá.

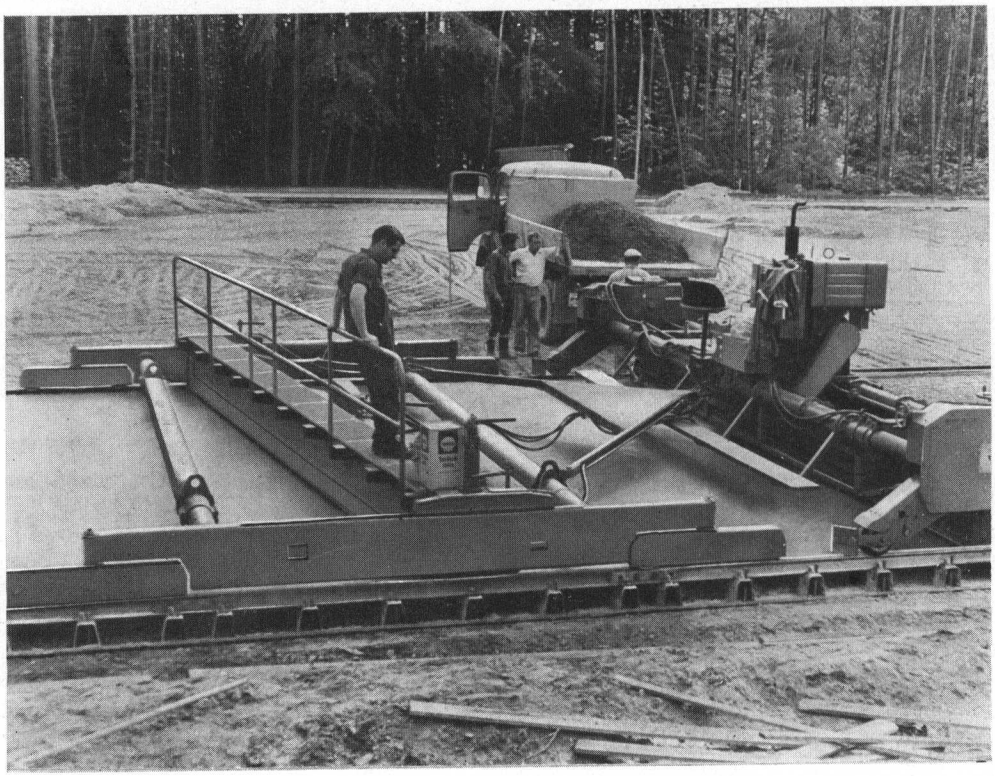
Végezetül fényképen bemutatunk egy más típusú betonburkolat-építő gépláncot a 7.15 és 7.16 képeken. A *Vögele-Junior* gépláncot főleg az autópályák leállósávjaiban az NSZK-ban terjedő betonburkolat-építésre használják 3 m szélességben.



7.14 kép. Előtérben egy munkahídon levő vibrációs berendezés a munkahézagok (esetleg szükséges dilatációs hézagok) melletti betonsáv külön tömörítésére; balra az első védősátrak

7.15 kép. Német autópálya leállósávjának kétrétegű betonburkolat építése *Vögele—Junior* típusú géplánccal. Az oldalról formasinek közé ürített alsó betont géplapát teríti el és vibrációs finiser dolgozza be





7.16 kép. *Vögele—Junior* géplánc a leállósáv felső betonrétegét a bedolgozó finiser után még egy ferdén mozgó vibrátoros simító-egyengető gerendával alakítja egyenletes felületűvé

itt az alsó réteg kavicsbetonját a tehergépkocsi oldalról a formasínek közé önti, s a betonhalmot a géplánc első tagja, a mozgatható—forgatható, s magassági értelemben rögzített egyengetőgéplapát teríti el. Ezután jön a betonfiniser, amely a vibrációs betömörítést végzi. Erre a kb. 15 cm vastag alsó rétegre jön az 5 cm vastag kopóbeton tört anyagból, ismét a géplapáttal elterítve, a finiserrel betömörítve. A finiser után van kötve most egy diagonál egyengető—simítógerenda, amely a felületi egyenletességet itt is javítja. Megjegyezzük, hogy a betonburkolatot a leállósávnál sokszor akkor alkalmazzák, ha a főpályákat pl. aszfaltburkolattal, öntött aszfalttal építik meg.

7.5.2.3. A betonlemez utókezelése

A betonburkolat utókezelése a bedolgozástól, a géplánc elvonulásától kezdve számít, s legalább 3...4 hétig tart. Ezalatt az idő alatt gondoskodni kell a *beton szilárdulásának elősegítéséről*, a *zsugorodási repedések megelőzéséről*, a *hézagok végleges kiképzésének befejezéséről* és bitumenes anyaggal való *kiöntéséről*. A két hét elteltével a betonburkolaton személy- és 2 tonnánál könnyebb tehergépkocsi-forgalom már megengedhető, ha a 28. napra előírt szilárdság 70%-ának elérését igazolni lehet. Előírásaink szerint azonban *a forgalomnak* való átadás — főleg a nehéz teherforgalom miatt — *csak 4 hetes (28 napos) szilárdulás után történhet* meg.

Az utókezelés első mozzanata még az építéssel összefügg: a burkolatépítő gépláncot közvetlenül nyomon követi még a járó vagy később a formasíneken gördülő *védőtetők sorozata*. Ezek alacsony, világos színű sátortetők, amelyek oldalról is zártak a széllel szemben, kerékkel ellátott kereteken gördíthetők, vagy könnyen hordozhatók. Ezen védőtetők feladata, hogy a betont szilárdulásának legkényesebb első szakaszában védjék mind a nap tüzétől, mind a szél okozta párolgástól, a kedvezőtlen vízelvonástól, valamint a kötést lassító hőelvonástól.

A korszerű utókezelést *védőfilmbevonat permetezéssel* végzik. Ennél a módszernél *nem igyekszünk* a nedvességet, *vizet* felülről *pótolni* a szilárduló betonlemeznél, hanem a lemezben eredetileg a keverésnél és bedolgozásnál is meglevő vízmennyiségnek a lehető legnagyobb részét *meg kívánjuk menteni az elpárolgástól*, eltávozástól. Ezért az éppen megszikkadt 3...4 órás friss betonfelületre egy folyékony anyagot (vegyianyag-oldatot, emulziót) permeteznek szét nyomás alatt, permetezővel. Ez a betonfelületen egy vékony, de vízátnemeresztő *védőfilmet*, *védőhártyát* képez hamarosan. A betonba eredetileg kb. $V \approx 0{,}45\,C$ mennyiségű vizet vittünk be (0,45 víz—cement-tényező esetén); az első órák párolgása után a védőfilm a betonban kb. $V \approx (0{,}25...0{,}30)\,C$ mennyiségű vizet zár még be, ami a beton hidratációjához, kötéséhez és szilárdulásához teljesen elegendő.

A betonfelületre permetezett, s ott megszilárdult védő-



7.17 kép. Utánkezelést biztosító védőfilm permetezése munkahídról a védősátorok között

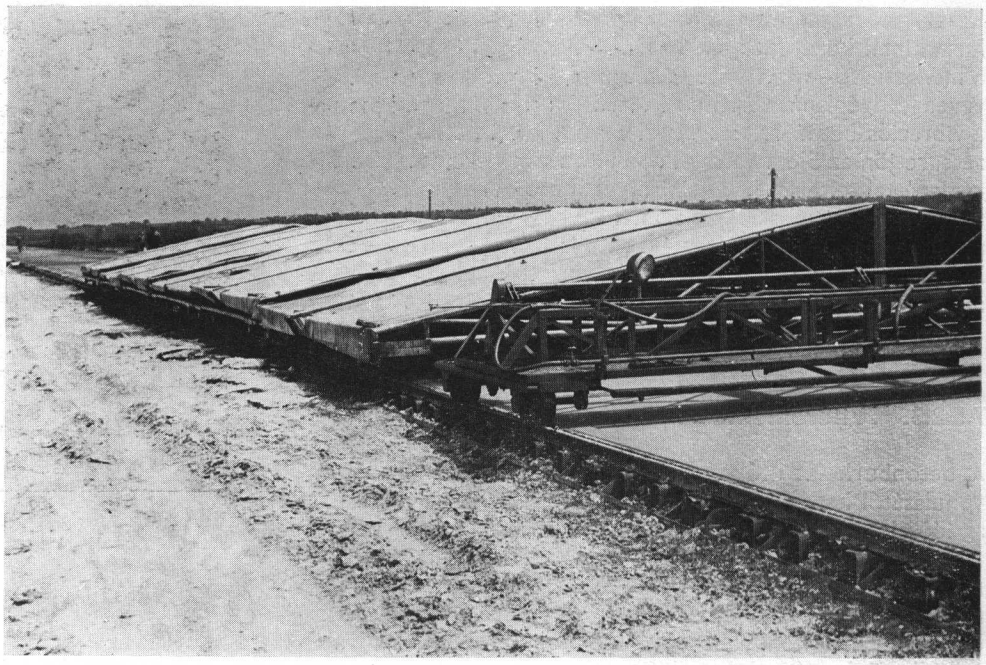
bevonat anyaga számos szabadalom, eljárás, receptúra szerint történik. A számos külföldi fajta közül megemlítjük a *Protect*, a magyarok közül pedig az Útépítési Tanszék Laboratóriuma által kidolgozott paraffin-ceresin alapanyagú *C-anyagot*. Ügyelni kell arra, hogy a permetezőanyagokat ne permetezzék a túl friss betonra, amikor annak a felülete még egészen vizes, nem szikkadt meg; másrészt pár óra múlva feltétlen el kell permetezni az előírt egyenletes mennyiségben. Az anyagban feloldott színező révén a permetezett felület színén és árnyalatán ellenőrizni lehet, hogy mindenhol végeztek-e permetezést, s az egyenletes-e. Különösen kell vigyázni arra, hogy a permetezőanyagot az első fél, egy nap alatt ne mossa le egy hirtelen eső, mert az első időben egyik gyártmány sem bírja el az esőt vagy öntözést. Külföldön is előírás, hogy az első nap vagy letakarással (pl. vékony polietilén fóliával) vagy sátorsorral védik a védőfilmet. Ha mégis esőt kap az első napon, akkor újra kell a védőfilmet permetezni.

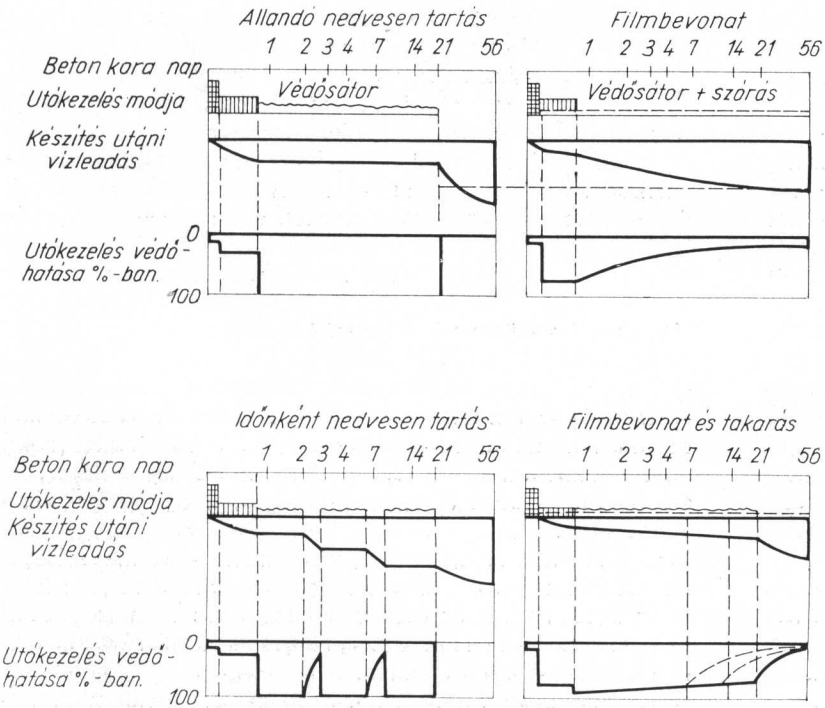
Az első napon a védőtetők elhaladtával még legalább 1...2 napig *száraz takaróanyaggal le kell fedni* a védőfilmmel bevont lemezfelületet (szalmafonat, nádfonat, jutatakarók). Ez csökkenti a hőelvonást, s különösen szükséges akkor, ha a meleg, napsütéses építési napra hűvös, hideg éjszaka és hajnal várható.

Ügyelni kell arra, hogy a védőfilmanyag permetezését a formasínek elbontása után a betonlemez oldalfelületén is el kell végezni, majd az esetleges hézagvágás után is pótolni kell permetezéssel a bevonatot, részben a vágott sávban, részben a hézagvágógép nyomán.

A védőbevonat anyaga kb. 3...4 hét alatt elbomlik, vízvisszatartó feladatát azonban főleg az első két héten, amikor az fontos, teljesíti.

7.18 kép. Védősátorok második része a beton felett. Előtérben a védőfilm-permetező munkahíd





7-68. ábra. A nedvesen tartással és a filmbevonattal való utókezelés hatása a kötésidő alatt a vízleadásra és a beton védelmére (Ahlbrecht 1962. [61])

A *hagyományos nedves utókezelés* jóval munkaigényesebb és költségesebb módon történt. Az első napokban a jutatakarókkal letakart betonfelületet folyamatosan locsolták, s csak a hézagvágás idejére részlegesen és ideiglenesen takarták ki. Ezután a teljes felületet 2...3 cm vastag földréteggel fedték le, majd a betonlemez felületén 1...1,5 mm oldalhosszú négyzetes kazettákat alakítottak ki kis 6...10 cm-es földgátacskákkal. A kazettákat vízzel árasztották el, s a vizet 10 napig állandó csővezetékes locsolással pótolták. Ezután a kazetták földanyagát elterítve még 4 napig nedvesen tartották a felületet. Ezt követően elég nagy részben gépi, részben kézi munkával letakarították a földanyagot a betonlemezről. Az ilyen 10 napos teljes elárasztás + 4 nap nedvesen tartás csak hazai módszer volt, külföldön e helyett a nedves utánkezelésnél is mindig csak nedves földdel való betakarást végeztek, s azt locsolták, az első napokban oldalról csövön, később már az új betonon járó könnyebb öntözőgépkocsival.

A hagyományos nedves utókezelés feltétlen jó eredményt, akadálytalan betonszilárdulást eredményez, ha azt valóban folyamatosan végrehajtják. A külföldi és hazai tapasztalat azonban egyaránt azt mutatja, hogy a nedves, locsolásos utó-

kezelést munkaerőhiány, fegyelmi okok, a sok kilométeres építési vízcsővezeték meghibásodásai és vízkimaradásai stb. miatt rendszerint csak szakaszosan, tökéletlenül lehet végrehajtani. *Ahlbrecht* 1962. évi stuttgarti kísérleti vizsgálatainak eredményeit a 7-68. ábrán látjuk [61]. Ezek szerint a legkedvezőbb eredményt a tökéletesen végrehajtott nedves utókezelés adja, a legrosszabb eredményt pedig az általános régebbi gyakorlatot — a hazai, magyar gyakorlatot is — jellemző megszakításokkal végrehajtott nedves utókezelési módszer. A védőfilmbevonattal egyedül való utánkezelés jobb a megszakításos nedves utánkezelésnél, de nem éri el a tökéletes nedves utókezelést. Az *optimális megoldásnak a védőfilmbevonat és az első két hétben való száraz letakarás* együttes alkalmazása látszott, ennek hatékonysága majdnem azonos a tökéletes nedves utókezeléssel. Ettől eltérően azonban sokkal üzembiztosabban, sokkal kisebb munkaerővel, jóval olcsóbban hajtható végre. A földanyag utólagos költséges eltávolítása a lemezről szintén nem szükséges, a viszonylag szintén sok takaróanyag, vagy fólia összeszedése viszont jóval kisebb munka.

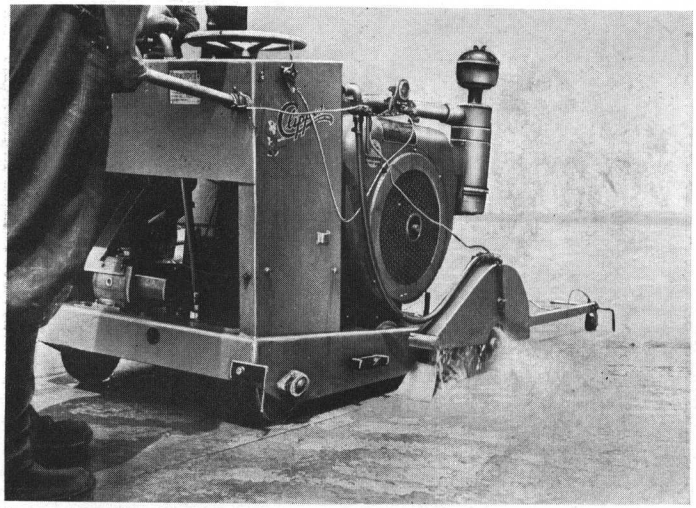
Az „utókezelésnek" egyik különleges extrém módja az is, ha a meleg nyári időszakban nem engedik meg a betonozást (pl. néhol Franciaországban). A nyári időszak azonban a legértékesebb az építés és a kivitelező vállalat számára, a fenti kettős megoldással (védőbevonat + takarás) ezért indokolt a nyári melegben való munka is, a kellő intézkedések betartásával a zsugorodási vadrepedések ellen (l. később).

7.5.2.4. A hézagvágás és a zsugorodási vadrepedések

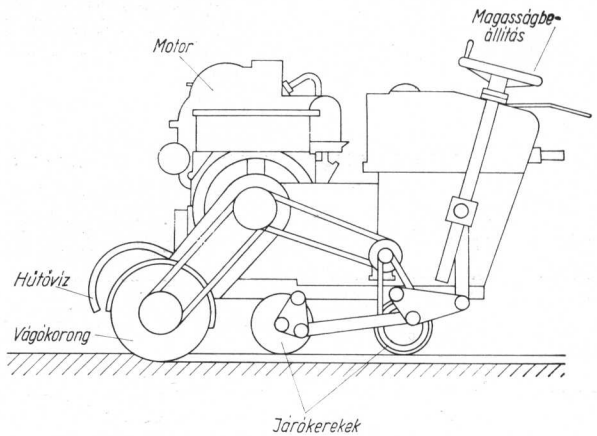
Az utókezeléssel egyidőben kell elvégezni a hézagok bevágását is abban az esetben, ha nem bevibrált hézagokkal dolgoztak eleve. A hézagvágás módszerének előnye az egészséges szélű, határozott és sima felületű hézag, azonban költséges volta mellett feltétlenül kockázatosabb, mint a hézagvibrálás módszere, mivel a hézagvágásnak mindig versenyben kell lennie a zsugorodási vadrepedések kifejlődésének megakadályozásában.

A hézagvágógép szokásos elrendezését a 7-69. ábrán látjuk. Korszerűtlen kivitelénél a vágókorong előtolását kézzel végzi a kezelő munkás, az ilyen hézag nem egyenes, félrevágás is lehetséges. A korszerű hézagvágógépek — akár korund-koronggal, akár gyémántkoszorús koronggal dolgoznak — automatikus előtolással működnek, többnyire egy beállított acéllemez mellett tökéletesen egyenes és legalább 5...6 cm mély hézagot vágnak.

A hézagvágás időpontja rendkívül fontos. Régebben a 24...36 óra közötti hézagvágás volt az előírás és a gyakorlat. Újabban több országban (Franciaország, Ausztria, Németország) rátértek a kb. 12...15 óra, tehát fél nap utáni vágásra. (Próbát tesznek, hogy a beton széle nem rombolódik-e le, köt-e már annyira, hogy a zúzalékot szétfűrészeli a korong, de nem pereg ki.) Így a *délelőtt* épített szakaszt *estétől* vágják,



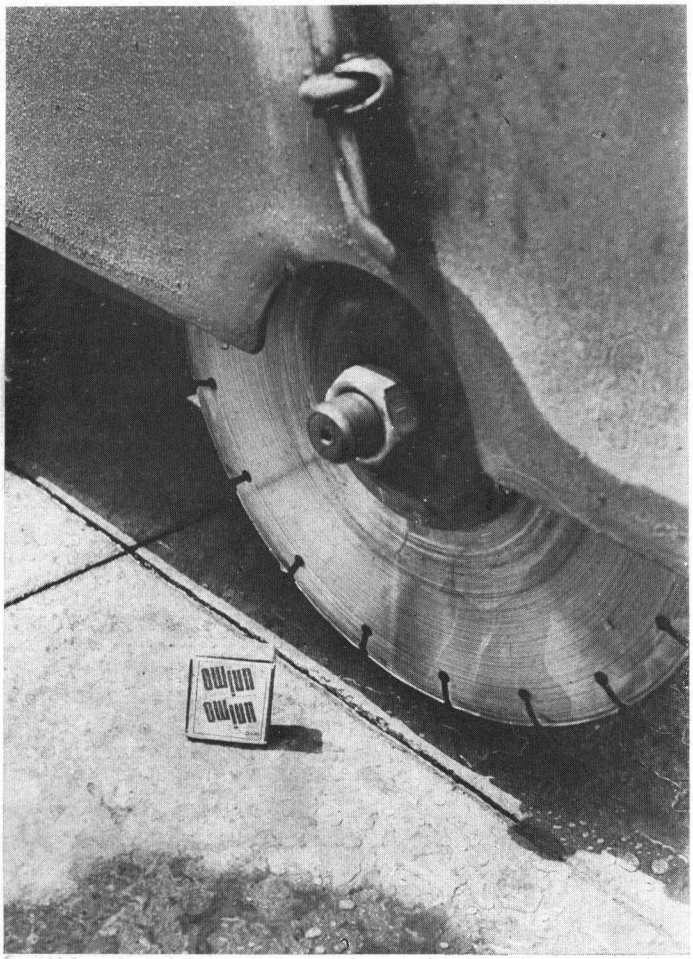
7.19 kép. Hézagvágás *Clipper*-típusú hézagvágógéppel



7-69. ábra. Hézagvágógép fő elrendezése

a *délután* épített szakaszt másnap *reggeltől*, ha az időjárás meleg. (Hűvös időben, ősszel a kötés lassabb, és a zsugorodásveszély is kevésbé lép fel, akkor lehet 36 óra után is végezni.) A hézagvágást sokszor előbb, 15 m-enként végzik, s ezután sűrítik be az 5 m-es távolságú hézagokat. (Ausztriában ehelyett ragaszkodnak az 5 m-enkénti folyamatos hézagvágáshoz, de igyekeznek igen hamar kezdeni és gyorsan vágni.)

A hézagvágásos módszernél azonban néha akkor is előfordulhatnak zsugorodási vadrepedések, ha a hézagvágógépek a finiser munkájával rendesen lépést tartanak. A zsugorodási vadrepedéseknek számos részoka lehetséges, ezek általában a repedési hajlamot fokozzák. 2...3 ilyen tényező összejátszásából adódnak a valóban létrejövő repedések. A részokok



7.20 kép. A hézagvágógép gyémántkoszorús vágókorongja

egy csoportját már a beton tárgyalásakor megismertük, most felsoroljuk őket a többi kivitelezési tényezővel együtt.

A zsugorodási repedések képződését elősegítik a következő *részokok:*

1. A cement túl nagy őrlésfinomsága, nagy kötésgyorsasága, túl nagy kezdőszilárdsága, kezdeti kötési hője (468. oldal).
2. A cement viszonylagosan nagyobb trikalcium-aluminát tartalma (470. oldal).
3. A betonösszetétel rendellenesen nagy habarcstartalma, amely a zsugorodást elősegíti.
4. A betonösszetétel rendellenesen alacsony habarcstartalma, amely a bedolgozhatóságot rontja, s a beton kezdeti húzószilárdságát csökkenti.
5. A beton víztartalmának, cementtartalmának és összetételének ingadozása az egyes keverési adagok között, mert ezek egymás mellett bedolgozva a betonlemezbe, másképp zsugorodnak és kötnek.
6. Az egyenlőtlen betonszállításból adódó időkimaradások, amikor a már bedolgozott beton kötése kissé megindul, s a későbbi friss betonnal való együtt dolgozás már nem tökéletes.
7. Az utókezelés hiányossága, mert nincs, vagy nincs elég hosszú sor védőtető, s a nap tűző hatása közvetlen éri a friss betont.
8. Az utókezelés hiányossága, mert a forró építési nap utáni éjszaka erős lehűlése a szilárdulást csökkenti. Ezt a hatást nem ellensúlyozták jutatakarós lefedéssel. *Reverdy* [54, 55] és hazai tapasztalatok szerint különösen 10... ...13 °C hőmérséklet-csökkenés esetén várhatók a repedések a lefedés nélküli lemezen.
9. Az időjárás túl száraz, a levegő relatív nedvessége túl alacsony, s ezt az utánkezelés során nem ellensúlyozzák. *Reverdy* szerint a repedési veszély főleg 70% légnedvesség alatt léphet fel, és kb. 40% légnedvesség alatt válik különösen veszélyessé a helyzet, amikor többszöri filmbevonat-készítéssel, vagy nedves utánkezeléssel kell külön védekezni [55].
10. Az utókezelés hiányossága, mert a védőfilmbevonat vagy vízáteresztő, nem jó minőségű, vagy a nedves eljárásban kimaradt a vízutánpótlás.
11. A hézagvágás mélysége nem elegendő, ezt nem ellenőrzik, s így nem is lesz hatékony.
12. A betonminőség ingadozó, s ha véletlenül a hézagvágás környezetében van a jobb minőségű beton, s a táblaközépben a 20...25%-kal gyengébb minőségű beton, akkor ez közel olyan, mintha nem vágtak volna 4...5 cm mély hézagot a 22 cm-es lemezben, 6 cm-t a 24 cm vastag lemeznél.
13. A terjeszkedési hézagbetét eldőlése és rossz kialakítása miatt a vadrepedés a bevágás mellett is létrejöhet.
14. A beton összetételéből és a cementfajtából adódóan túl későn lehet megkezdeni a hézagvágást a zúzalékoknak a hézagélből való kitöredezési veszélye nélkül, s a beton hamarabb zsugorodik, minthogy sem annyira megszilárdulna, hogy vágni lehetne (kapcsolat főleg az 1. és 2. részokkal).
15. A hézagvágás időbeli késése géphiba, géphiány, koronghiány, szervezési hiba miatt.

Azt látjuk, hogy a sokféle ok mellett csupán az utolsó volt az, hogy a hézagvágás elmaradt az előírt ütemből; az összes többi rész tehát akkor is fennáll, ha a hézagvágás szabályszerűen halad. Igaz, egy ok még nem okoz vadrepedést; viszont nem kellően ellenőrzött anyaggal, csak kissé egyenlőtlen betonkészítésnél és nem rendszeres beépítésnél, különösen napos, száraz időszakban, a vadrepedések keletkezése „meg-

magyarázhatatlan" módon szaporodhat, a gondosnak vélt korai hézagvágások ellenére.

A vadrepedések eredendő fő oka azonban az, hogy a zsugorodási hézagot nem azonnal a beton betömörítése után, a beton kezdeti zsugorodása előtt készítették el, hanem jóval később a betonzsugorodás fellépése után. A hézagok befűrészeléssel, vágással való utólagos kialakítása tehát egy jelentős kiviteli *kockázatot* feltételező módszer, amely eredményesen — tehát kevés zsugorodási vadrepedéssel — csakis jó anyagok, igen egyenletes betonkészítés és igen fegyelmezett kivitelezés esetén alkalmazható.

Ezzel szemben a *kereszthézagok bevibrálása* vibrálógéppel a friss, betömörített betonba *a zsugorodási vadrepedéseknek a megelőzését jelenti*, a fenti 15 részok hatásának majdnem teljes kiküszöbölését. (A hosszhézag készítése már történhet akár bevibrálással, akár utólagos bevágással.)

A forma- és járósínes rendszerű betonútépítő géplánccal való betonútépítésnek az egyik jelentős előnye, hogy a hézagbevibrálás *után* még egy külön nivelláló-finomegyengetőgép a vibrálással járó kisebb felületi dudorokat is teljesen eltünteti: ez az előny a csúszózsalus finisereknél nincsen meg, ennek ellenére a hézagbevibrálást és a hézagbevágást ott is használják.

3. *A hézagok kiöntése.* Az utókezelésnek ez az utolsó fázisa lényegében a víztől való szigetelés érdekében történik. (Nem kell kiönteni a 2...4 mm széles speciálisan keskeny hézagokat, s a műanyag vagy fólia bevibrálásával készített hézagokat.)

A kiöntést csak tartósan száraz időben, + 5 °C hőmérséklet felett szabad elvégezni, előzőleg teljes mélységben kitisztítva a hézagokat. A kiöntés előtt a hézagot elő kell kenni HB-0 hígított bitumennel, hogy a kiöntőanyag jól tapadjon a betonhoz.

Kiöntőanyagul ma elsősorban a *gumibitument* alkalmazzuk (összetételét a 117. oldalon tárgyaltuk). A kiöntésnél 150... ...160 °C hőmérsékletűnek kell lennie. A kiöntést vagy kézzel, 4 l-es, hosszúcsőrű öntőedényből (az ún. csókával) végzik, vagy korszerűbb módon a keréken tolható kiöntőgéppel.

A hézagokat két munkamenetben kell kiönteni. Az alsó hézagfél kiöntése után a már megdermedt, de fényes, tiszta felületű anyagra kerül a második kiöntés, amely pontosan csak a *hézag pereméig* terjed. A kiemelkedő, vagy hézag mellé került bitument dermedés után, félmerev állapotban pontosan le kell vágni úgy, hogy a kiöntés felszíne homorú legyen. A régebbi ún. „koronázás", tehát a hézag két szélére való ráöntés és kidudorodás ütéseket ad a járművekre, rontja a felületi egyenletességet. Az egészséges, jó betonnál a hézagok szélének nincsen szüksége „koronázással" való védelemre, az évtizedes bevált külföldi gyakorlat szerint is, amelyet az utolsó évtized óta hazánkban is követünk.

A gumibitumenes kiöntés helyett még előnyösebb a neoprén-hézagidom-szalag tömítés (491. oldal).

A hézagok *rendszeres fenntartását az évenként kétszeri utánöntés* jelenti. Először ki kell kaparni a nem összefüggő régi kiöntőanyag-darabokat, s erős kiseprés, kifúvatás után a száraz hézagot HB-0 előkenés után a már elmondottak szerint öntik ki újra gumibitumennel.

7.5.2.5. A betonlemez érdesítése

Ismeretes, hogy a szokásos betonburkolat felülete általában jó — közepes, az érdes és érdesített aszfaltburkolatoknál kisebb csúszó súrlódást mutat, amely azonban még kielégítő érték. Számos kutatás foglalkozott azzal, hogy a súrlódás nagyságát hogyan lehet fokozni. Erre a következő lehetőségek vannak:

a) A *beton összetételével* csak elég kevés eredményjavítást lehet elérni. Egyértelműen csak azt lehet mondani, hogy az érdes szemű homokok és az eruptív kőzetek alkalmazása kedvezőbb, mint a mészkőzúzalék adalékanyagként való alkalmazása, bár Franciaországban és az USA-ban mészkövet is alkalmaznak a betonburkolatban.

b) A betonburkolat felületén az utánsimítógép gerendájának a fűrészelő mozgása kis mélységű és hosszú, de jól érzékelhető hullámokat hoz létre, amelyek kissé elősegítik az érdességet, főleg a mikrovíztelenítő hatásukkal. A felső habarcsréteg sima volta miatt azonban ez a hatás nem párosul jelentősebb geometriai érdességgel.

c) Legújabb kísérletek szerint [46, 47] jó eredményt akkor lehet elérni, ha a nivelláló finiser után a beton felületét egyenletes szélű, de eléggé durva és merev *drótseprűvel* egyenletesen lehúzzák és így rovátkákat létesítenek, amelyek a betonfelületen a hiányzó geometriai érdességet is pótolják.

d) Igen jelentős, évtizedes tapasztalatot közölt *Piret* [46] az 1969. évi párizsi betonút kongresszuson a Belgiumban végzett betonútérdesítési kísérletek eredményeiről, amelyek már az érdesítés után 9...16 év múlva mért értékekről tudósítanak. Azt tapasztalták, hogy a drótseprűvel való érdesítésnek csak akkor van jó — közepes hatása, ha maga a beton is már elegendő érdességű, nem könnyen polírozódó kőanyagból, érdes homokból készült. Ezzel szemben kiváló eredményeket értek el a beton anyagától függetlenül az igen eredeti, máshol nem alkalmazott módszerrel: *a friss betonfelület éles, kemény és durva felületű, nem polírozódó zúzalékkal való behintésével, zúzalékos érdesítésével.* Néhány veszélyes helyen 1953 óta fekszenek kísérleti szakaszok, amelyek 16 év után is viszonylag jóval magasabb csúszó súrlódást biztosítanak, mint a hagyományos betonfelület, s főleg nagyobb sebességeknél kevésbé csökken a súrlódás. (Ez a nagyobb geometriai érdesség a jobb mikrovíztelenítés miatt természetes.) A mért csúszó súrlódási értékek a következők voltak:

Sebesség:	20 km/h	50 km/h	80 km/h
Hagyományos felület:	f = 0,82	0,53	0,40
Zúzalékkal érdesített betonfelület:	f = 0,88	0,71	0,60

Eddig a 8/12 szemnagyság körüli zúzalékot kézzel szórták a friss betonfelületre, s kézihengerrel nyomták be a felületbe. A kézi munka miatt Belgiumban is idegenkedés volt a módszer kiterjesztésével szemben. A jó eredmények miatt azonban a módszer félgépesítése — akár az öntöttaszfalt-burkolathoz hasonlóan — szükségszerűnek mutatkozik.

e) Teljesség kedvéért itt is megemlítjük azt a módszert, amely a repülőtereknél terjedt el az aquaplaning — vízencsúszás — jelenségének meggátlására: a betontáblákba utólagosan gyémántkoszorús korongsorozattal egy mély barázdasort vágnak a betonpálya felületébe, a víz csatornaszerű elvezetése érdekében. Újabban ezt a módszert német autópályák egyes veszélyes helyein (közel vízszintes szakaszra került inflexiós ellenívek oldalesés nélküli, rosszul víztelenített, ezért aquaplaning-vízencsúszás miatt sok balesetről ismert helyein) sikerrel alkalmazták. Ezután a balesetek száma erősen csökkent.

7.5.3. Betonburkolat-építés csúszózsalus finiserrel

7.5.3.1. A csúszózsalus betonútépítési eljárás kialakulása és elterjedése

A csúszózsalus betonútépítés alig több, mint két évtizede alakult ki. Az USA-ban James Johnson mérnök 1949-ben épített először oldalsó formasín nélküli, csúszózsalus Johnson-finiserrel betonutat, miután az csőátereszek betonozásánál a vibrálás alatti betonmegfolyósodásnak és a vibrálás megszűnése utáni betonmegmerevedésének jelenségéből arra következtetett, hogy a munkaigényes formasín fektetést meg lehet takarítani a betonútépítésnél. A gép tökéletesítése után valójában csak 1955 óta kezdett az eljárás terjedni Jowa és Colorado államokból, majd 1960-ban Californiából. Az utolsó évtizedben az USA-ban igen erősen elterjedt az alkalmazása, bár korántsem vált egyeduralkodóvá a szintén alkalmazott formasínes építési mód mellett. Elterjedését az USA-ban főleg az ott jelentős munkabér-megtakarítás, és a nagy teljesítményekre való alkalmasság segítette elő.

Európában az eljárás Franciaország közvetítésével került el 1962-ben. *Reverdy* [22] adatai szerint Franciaországban az 1958. év előtt évtizedekig nem volt betonútépítés. 1958/59-ben a Párizs-Dél autópálya első szakaszát kezdték el építeni formasínes módszerrel, egy háború előtti régi előírásra támaszkodó, igen nehezen bedolgozható útbeton-receptúra alapján. A kivitelezés nem volt sikeres, a felület hullámos volt, a hézagok egyenetlenek voltak. Ezért 1960-ban egy nagy létszámú tanulmányi bizottságot küldtek az USA-ba, ahonnan visszatérve az útbeton-összetétel előírásokat erősen megváltoztatták a jól bedolgozható, légpórustartalmú, szilárdabb beton érdekében. Emellett kivitelezőik — akiknek az egy sikertelen tapasztalaton kívül más formasínes betonútépítésük alig volt — a legújabbnak megismert csúszózsalus finisert (slip form paver) vásárolták meg és honosították meg. 1962-ben az Autoroute du Sud vonalának Corbeil-Nemour-i szakaszán építettek először a csúszózsalus finiserrel betonutat, s — főleg a jobban bedolgozható betont eredményező korszerűbb betonreceptúrák alapján — már sikeresen, jó minőségű betonutat készítettek. 1962 és 1969 között az új módszerrel kb. 250 km betonburkolatú autópályát építettek (ugyanakkor 900 km aszfaltburkolatút).

A csúszózsalus finiserek Európában még korlátozott mértékben alkalmazásra kerültek más államokban is, pl. Angliában, Belgiumban, egy-egy gépet vásárolt az NDK és Csehszlovákia is. Ugyanakkor a hagyományosan sok betonburkolatú utat építő és régi tapasztalatokkal rendelkező európai államok — Nyugat-Németország, Svájc, Ausztria, Szovjetunió, Magyarország — egyelőre megmaradtak a formasínes betonútépítés náluk bevált, s korszerűen tökéletesített megoldása mellett.

A csúszózsalus finiserrel történő betonútépítést úgy kell tekinteni, mint egy nagy építési teljesítmények mellett gazdaságosnak mutatkozó módszert, amely azonban nem eredményez semmivel sem jobb minőségű burkolatot, mint a helyesen alkalmazott formasínes géplánccal épített betonburkolat. A legújabb típusú gépek mindkét rendszerben egyformán korszerűnek mondhatók, s alkalmazásukat, megválasztásukat az illető ország építési hagyományai, szervezési, gazdasági szempontjai döntik el. Nálunk — ahol a formasínes építési módszernek igen nagy hagyományai és még nagyon valószínű jövője van — szintén alapos áttekintéssel és tárgyilagossággal kell megismernünk a csúszózsalus építési mód előnyeit és hátrányait.

Ugyanakkor egy más területen, az alsórendű mezőgazdasági, rendszerint keskeny utaknál néha alkalmazott betonburkolatoknál a csak felületi vibrátorokkal dolgozó, az aszfaltfiniser elvén működő egyszerű csúszózsalus finiserek alkalmazása *kizárólagosan előnyös*, és hazánkban is alkalmazásra került. Ez a módszer azonban nem azonos az autópályákon, főutakon alkalmazott építési módszerrel, amelyet most a következőkben ismertetünk.

7.5.3.2. Az előmunkálatok és az ágyazat készítése csúszózsalus építési módszernél

A betonburkolat alatti ágyazat elkészítése most két szempontból különbözik a formasínes módszernél alkalmazott ágyazattól:

a) az ágyazat kétoldalt kb. 70...70 cm-rel szélesebbre készítendő, mint az építendő betonburkolat, mivel a csúszózsalus finiser két lánctalpának egy teljesen pontos, egyenletes pályát kell létrehozni;

b) az ágyazat magassági szempontból rendkívül pontosan, ±1 cm tűréssel állítandó elő formasínek nélkül is, mivel a

betonlemez felülete csakis akkor lehet kielégítően sík és egyenletes, ha már az ágyazat is teljes mértékben sík és kellő pontos magasságú.

Ez utóbbi követelményt csak igen korszerű gépparkkal lehet kielégíteni. Igaz, hogy a betonfinisernek automatikus, dróthuzalból vezérelt magasságkorrekciós berendezése van, ez azonban az elkerülhetetlen holtjátékok miatt csak akkor működik megfelelően, ha már az ágyazat kielégítően sík és a magassága megfelelő.

Ezért az ágyazat elkészítéséhez vagy a stabilizációs mixed in place eljárást használva, a felette levő bitumenes kavicsot automata nivelláló finiserrel kell fektetni, vagy — a francia autópályáknál főleg ez a helyzet — az ágyazatot keverőtelepen kevert kavicsos homokból készült cementstabilizációval, készítik úgy, hogy a bedolgozást, elterítést a pontosan épített földmunkán ugyanaz a csúszózsalus finiser készíti, amely később a betonburkolatot fogja építeni. A gép most is használja a beszintezett, kifeszített acéldrótról tapogatókkal vezérelt magasságszabályozó automatikáját, azonban tűvibrátorokat most nem használ, csak felületi vibrációt. (Ezért az ágyazatot még gumihengerrel tovább is tömörítik néha.)

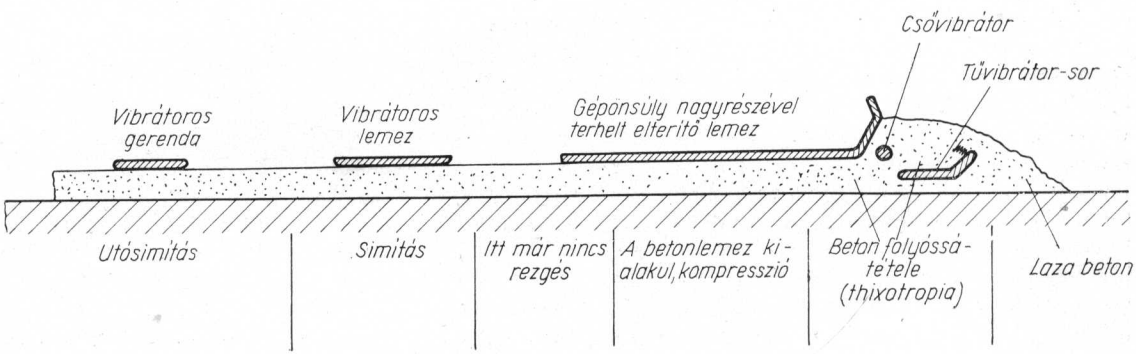
A francia autópályáknál az ágyazati anyagként szolgáló cementstabilizációt 240 m³/h teljesítményű óriási központi betongyárakban készítették. Az adalékanyag helyi jó minőségű homokos kavics volt, amit azonban a helyszínen nagy teljesítményű törő és osztályozó berendezésekkel *megtörték, osztályoztak* 0...31,5 mm között, s a homok egy részét eltávolították. A homokegyenérték $HE = 30...50\%$ között volt, a módosított Proctor-tömörség 2,15 Mp/m³ körül. A cementadagolás 3 súly% körüli, ami 60...70 kg/m³ értéknek felelt meg. Így a megfelelő szemeloszlást és cementadagolást létrehozva rendszeresen elérték 7 napos korban a 30 kp/cm² és 28 napos korban az 50...80 kp/cm² közötti szilárdságot. Látható tehát, hogy itt viszonylag kisszilárdságú, központi keverőben kevert *cementstabilizációról* van szó, nem pedig a B-100 vagy B-200 típusú betonalapról, melynek hátrányait a 485. oldalon részleteztük.

7.5.3.3. A csúszózsalus finiser és munkája

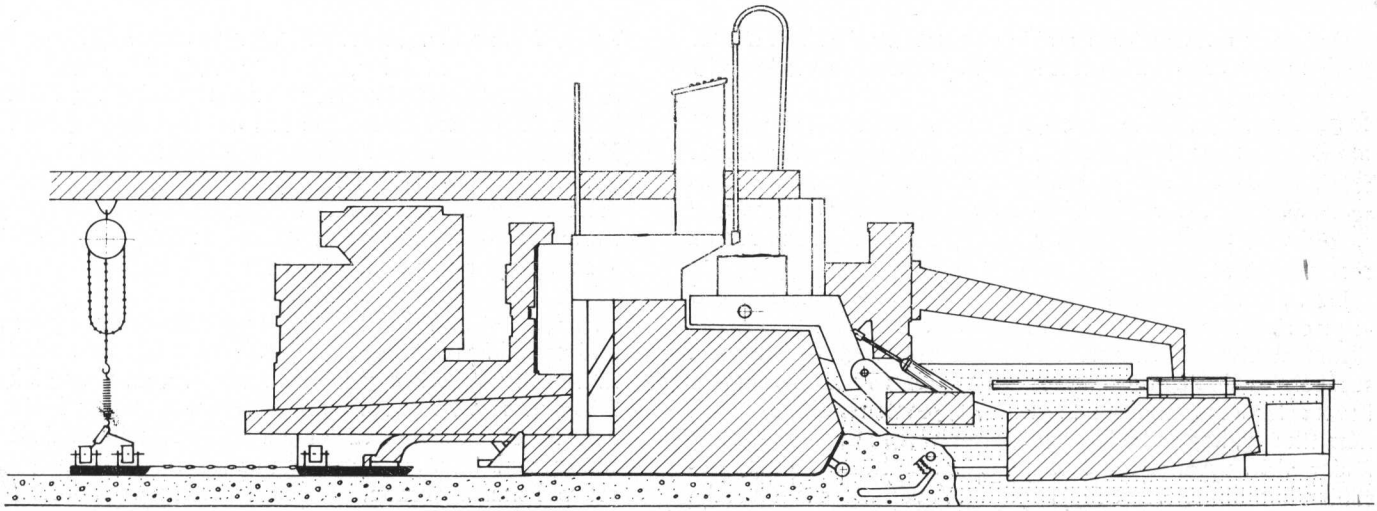
A csúszózsalus finiser elvi működési vázlatát a 7-70. ábrán látjuk. A gép két lánctalpon jár, amelyek közreveszik a két, kb. 4 m-es csúszózsalu között kialakuló betonlemezt. A friss betont halomba ürítik a tükörbe a finiser alá. A finiser előrehaladva először egy *sorozat tűvibrátor*ral, majd utána egy *csővibrátor*ral — amelyek a betonhalmaz belsejébe kerülnek — a beton *thixotropos tulajdonságát* kihasználva először szinte *folyóssá* változtatja a betont. A folyós beton így elosztódva a haladó finiser 1,8 m hosszú és burkolatszélességnek megfelelő terhelő-préslemeze alá jut. Erre a lemezre adódik át a finiser önsúlyának egy jelentős része, s ez alatt alakul ki a folyós vibrált betonból a *megmerevedett, már jól betömörödött betonlemez*, amelynek szélei már a csúszózsalu elhaladása után sem omlanak le. A gépre függesztve működik még egy vibrátoros simítógerenda, amelyik a betonlemez felületét igyekszik zárttá tenni.

A csúszózsalus betonfinisereknek sok fajtájuk van, egyik legkorszerűbb és legjobban bevált típusa a 7-71. ábrán látható jellegrajzú *Guntert—Zimmermann*-féle finiser. A régebbi típusokkal szemben előnye a gépnek a jól működő nivelláló magasságbeállító automatikája. A tapasztalat szerint a kitűzött magasságirányító kétoldali dróthuzal-vezérlés a munkahelyen elég körülményes, s zavartalanságára erősen ügyelni kell. Emellett az alap pontosságára gazdasági okokból is vigyázni kell, mert a betonlemez vastagsága így pontatlan alapnál túl vastag (néha túl vékony) is lehet.

A csúszózsalus finisernek nem csak az az előnye, hogy a formasíneket nem kell nagy munkaigénnyel lefektetni és kiszabályozni. (Ma már hazai tapasztalat a nivelláló rendszerű aszfaltfiniserek alkalmazásánál, hogy a vezérlő dróthuzalok bemérése és kifeszítése, biztosítása viszonylag szintén elég jelentős munkát kíván.) A nagyobb munkamegtakarítás abban áll, hogy az *egyetlen gép* helyettesíti a formasínes géplánc számos gépegységét, amelyet külön-külön emberek irányítanak. A betonelosztó, a betonfiniser, a hézagvibrátor, az utánsimító



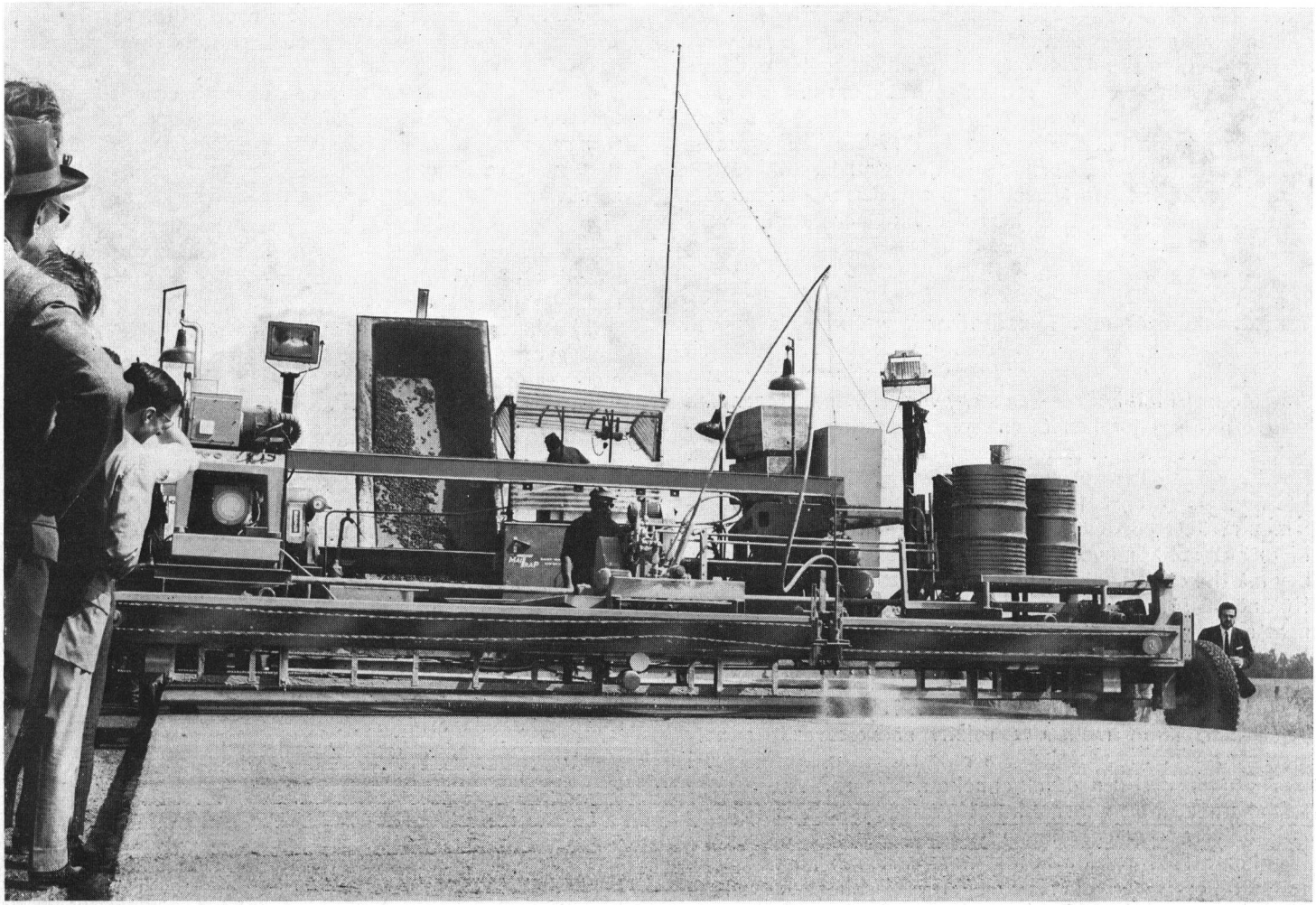
7-70. ábra. A csúszózsalus finiser elvi elrendezése és a betonlemez kialakulása



7-71. ábra. A *Guntert—Zimmermann*-féle csúszózsalus betonfiniser keresztmetszeti elrendezése



7.21 kép. *Guntert—Zimmermann* típusú lánctalpas **csúszózsalus** betonfiniser francia autópálya betonszakaszának főburkolatát készíti



7.22 kép. A csúszózsalus betonfiniser után mozgó, gumikerekes *SGME* típusú utókezelő-filmet permetező gép francia autópálya-betonburkolat építésekor

itt mind egyetlen gépben van egyesítve, egy gépész vezetése alatt.

A hézagokat a gép képes bevibrálni, mind a kereszt, mind a hosszhézagokat, sőt, a hosszhézagba a neoprén kitöltőprofilt is beköti. Kétségtelen azonban, hogy a bevibrált keresztházagot itt csak egy simítógerenda simítja el, nem egy külön nivelláló—simítógép. Számos esetben látható ezért az is, hogy a hézagokat utólag vágják a betonba. A hézagokba teherátadó vasalást általában nem alkalmaznak.

A gép sebessége nagy határok között változtatható, s általában igen nagy lehet. 4 sebessége van, a két legnagyobb sebesség 2,50 m/min = 150 m/h és 3,50 m/min = 210 m/h, ami csak 6 óra alatt is kb. 900 m/nap...1200 m/nap napi teljesítményt mutatna. A napi 1000 m-es teljesítmények azonban Amerikában is kivételesek, Franciaországban a közepes munkanapi átlag 600 m/nap körül mozog, s gyakorlatilag nem a finisertől, hanem a betongyár kapacitásától és a betonszállítás szervezettségétől függ. A finiser azonban így is kb. 5...10 percenként leáll, mert egy 240 m^3/h nagyságú óriási betongyár (ami a hazai betonútépítésnél alkalmazott 60 m^3/h betongyárnál négyszer nagyobb) 130 m/h sebességet enged csak meg. Ez is csak akkor teljesíthető, ha kb. 45 s-onként egy-egy 7 t hasznos terhű, 3 m^3 betont szállító nehéz tehergépkocsi érkezik állandóan. Ez pedig már így is jelentős nehéz

szervezési és keverési—szállítási feladat. A finisernek hosszasabban állnia azonban nem előnyös, mivel ekkor a tapasztalat szerint a csúszózsaluk közötti betonszakasz szélei omlósak lesznek. Így inkább a gép sebességét csökkentik.

Bár a gépnek valóban csak egy vezetője van, a finiser körül Franciaországban 12...13 fő dolgozott 1969-ben. [1 művezető, 1 gépvezető, 2 gépkocsiürítő, 5 kőműves a hézagok készítésére és javítására (vibrálással), 2 fő a védőfilm permetezést végzi külön kocsiról, 2 fő kézi védőfilm permetezést végzett.]

7.5.3.4. Az utánkezelés csúszózsalus gép esetén

A felületkialakítás két részben megy végbe: a simítógerendára van terítve egy jutakendő, amelyet rendszeresen nedvesítenek, s ez érdesíti, lehúzza a betonfelületet. A felületet ezenkívül még egy hosszú alumíniumcsővel való kézi lehúzással két munkás külön is kezeli. A bevibrált hézagokat a betonlemez mellett gördülő gumikerekekkel támaszkodó munkahídon dolgozó kőművesek alakítják készre és hullámmentesre. Egy másik kocsin pedig a védőfilmbevonatot permetezik szét. Különösen sok védőtetőt, letakarást Franciaországban azért nem alkalmaznak, mert viszont a nyári időszakot alkalmatlannak tartván az építésre, főleg csak a tavaszi és az őszi időszakban dolgoznak, amikor enyhe a hőmérséklet, nincs tűző nap és a levegő relatív nedvessége 50...70% feletti. (A levegő hőmérséklete mellett a relatív nedvességet is mindig mérik.)

A zsugorodási repedések ennél a módszernél is ugyanúgy felléphetnek, mint a formasínes eljárásnál, ha bevibrált hézagok helyett utólagos hézagvágással készítik a hézagokat. Ilyenkor a 522. oldalon közölt 15-féle részok közül fellépő tényezők összhatása okozhat zsugorodási vadrepedéseket, ez ellen az összes részokok megszüntetése, ill. megelőzése útján lehet védekezni. A nagyobb biztonságot természetesen itt is a bevibrált hézagok jelentik az utólag vágott hézagokkal szemben.

Az utánkezelés fogalmához tartozik még a *felület egyenletességének* esetleges utólagos javítása. Francia előírások szerint a 3 mm-en felüli egyenlőtlenségeknél árlevonást eszközölnek, 6 mm-en felül pedig a táblát cserélni kell. A Guntert—Zimmermann-féle csúszózsalus finiser viszonylag jobb felületet biztosít a nivelláló berendezései miatt, mint a régebbi típusú (pl. Rex, Johnson stb.) típusú csúszózsalus gépek. Ennek ellenére itt is használják korlátozott mértékben — az egész felület pár %-ára kiterjedően — a „Bump Cutter" nevű betonfelület-gyaluló gépet, amelynél számos csiszolókorongot egyszerre működtetnek hengerbe foglalva, s a már megkeményedett betonlemezből csiszolják le a 4...6 mm-es hullámokat. (A hullámosságot különben a három kerekű, 3 m hosszú hullámosságmérővel mérik.)

7.5.3.5. A csúszózsalus építési mód külön követelményei a beton minőségével szemben

A csúszózsalus finiserrel való építési módszernél alkalmazott útbeton összetétele és tulajdonsága iránti követelmények nem térnek el alapvetően a formasínes építési módnál alkalmazott szokásos útbetonéitól, azonban itt a szokásos követelményeken felül még különösen biztosítani kell:

a) a beton minőségének nagyfokú egyenletességét, (mert ez a csúszózsalus munkamódszernél különösen erősen befolyásolja a betonfelület egyenletességét a szilárdulás és zsugorodás lezajlása után);

b) a beton jó thixotrópiás tulajdonságait (hogy a csúszózsalu gyors elhaladása után a betonlemez szélei leomlás nélkül mereven épségben maradjanak).

Ezen követelmények kielégítése érdekében az útbeton három fő tulajdonságát nem szabad sem fogalom, sem vizsgálat szempontjából összecserélni, vagy egymással helyettesíteni (*Peltier, Streit* [54, 64]):

a) a *beton konzisztenciája* (folyóssága) elsősorban *sztatikus* jellemző, amelyet a friss beton kohéziója határoz meg. Általában az Abrams-féle roskadási próbával jellemzik nagyságát; a roskadási próba elsősorban a víztartalom állandóságának az ellenőrzésére alkalmas és használandó is;

b) a *beton bedolgozhatósága* már *dinamikus* jellemző, azonban a régebbi szétterülési próba helyett sokkal célszerűbb a vibrációs tömörítés hatását figyelembe véve, vibrációs elvű mérőeszközzel mérni (536. oldal, 7-74. ábra). A bedolgozhatóságot messze nemcsak a víztartalom, hanem a beton összetétele és nagymértékben még a légpórustartalma is befolyásolja;

c) az *útbeton thixotropikus tulajdonságát* a friss beton vibrációs tömörítésének első percében adódó kolloidális behatások következtében előálló deformációk jellemzik; ennek vizsgálatára ismét külön vibrátoros eszköz használatos.

Mivel a csúszózsalus finisernél elsősorban a *bedolgozhatóság* és a *thixotrópia* a fontos, s ezek a fogalmak nem azonosak a konzisztenciával, ezért ezeket a jellemzőket külön mérőeszközökkel kell ellenőrizni, s a betonösszetétellel befolyásolni.

Ha az amerikai és a francia széles körű vizsgálatok eredményeit tekintjük, akkor végül is kiderül, hogy a csúszózsalus építési módhoz alkalmas beton fő jellegzetességei a következők:

1. A beton összetétele hasonló a formasínes eljárásnál megszokott jó minőségű, nem habarcsszegény, jól bedolgozható, általában folytonos szemeloszlású adalékanyaggal készült útbeton összetételéhez, azzal a különbséggel, hogy kizárólag csak *egyrétegű* betont lehet készíteni, zúzottkő adalékanyaggal (kétrétegű beton nem alkalmazható).

2. Mind a beton bedolgozhatóságát, de elsősorban a thixotrópiát erősen javítani kell a legalább 4...4,5 térf.% légpórus

biztosításával, megfelelő légpórusképzővel. A légpórusos beton annak ellenére, hogy jobban bedolgozható, tehát a bedolgozó erőhatásra engedékenyebb, mégis önmagában jobban tart össze, kevésbé folyik szét (pl. szétterülési próbánál), s a csúszózsalu elhaladása után az élek jobban maradnak meg, a thixotrópiás tulajdonságok kedvezőbbek.

3. A thixotrópiás, fent részletezett tulajdonságok javíthatók kisebb mértékben azzal is, hogy az elegendő cementmennyiség mellett több 0,2 mm alatti szemnagyságú igen finom homokot alkalmazunk a keverékben, mint az általában szokásos. A kellő thixotrópiát azonban nem elsősorban a finom homok növelésével, hanem a jó légpórusképzéssel kell létrehozni.

4. A friss beton víztartalma 145...165 l/m³ között maradjon, a víz—cement-tényező így nem tér el jelentősen a szokásos útbeton 0,45 körüli értékétől (USA), bár éppen Franciaországban alkalmaztak 0,50 víz—cement-tényezőt is.

A beton összetételét laboratóriumi előkísérletekkel állapítják meg, azonban a munka megkezdése előtt egy leállósávon próbabetonozást végeznek, a beton bedolgozhatóságának és thixotrópiájának a csúszózsalus finiserrel 1:1 léptékarányban való kipróbálása érdekében.

7.5.4. A csúszózsalus és a formasínes betonútépítési technológia összehasonlítása és értékelése

A kétféle betonútépítési technológia a saját szabályai szerint egyformán korszerűnek számíthat, s mindkettővel kifogástalan betonburkolatot lehet építeni. Az értékeléshez az előnyöket és hátrányokat össze kell mérni.

A csúszózsalus építési mód

Előnyök:

a) Elmarad a formasín kitűzése és fektetése, ami sok kézi munkát igényel.

b) Többtagú, több gépkezelő által vezetett géplánc helyett csak egyetlen nagyobb lánctalpas gépegység dolgozik (az elosztógép, bedolgozógép, hézagvibrálógép, utánsimítógép helyett).

c) Rendkívül nagy teljesítményeket lehet elérni, akár napi 1...1,5 km 7,50 vagy 11 m-es szélességű betonút is készülhet, a teljesítménynek nem a finiser haladási sebessége, hanem a keverőtelep és a betonszállítás és anyagellátás állít korlátokat.

d) Ha a nagy teljesítményeket ki is használják, akkor jelentős munkaerő-megtakarítás, kisebb munkabérkiadás jelentkezik. (Jellemző amerikai értékelés volt: olyan vidékeken célszerű elsősorban alkalmazni, ahol „erősek a szakszervezetek".)

e) Igen gondos munkával kellő minőségű burkolatot lehet építeni.

f) A csúszózsalus módszer fiatalabb; újdonsága miatt nagyobb szakirodalmi tere (bár egyelőre kevesebb épített kilométere) jellemzi, ezért bevezetésénél a „korszerűség" fogalma önkéntelenül párosodik. (Franciáknál még: a német tapasztalatok átvételét ki lehetett kerülni.)

Hátrányok:

a) Az elmaradt formasínfektetés helyett a magasság és oldalvezetést adó kétoldali dróthuzalsor kitűzése és biztosítása eléggé munkaigényes és nehézkes.

b) Az egyetlen nagy gépegység, a lánctalpas csúszózsalus finiser lényegesen drágább, mint a formasínes bővített géplánc. Így pl. 1965-ben egy teljes kétrétegű formasínes új géplánc (2 betonelosztó, 2 finiser, 1 hézagvibráló, 1 utánsimító, 2000 m forma—járósín) kb. 500 000,— DM nyugatnémet márkába került, ugyanakkor a Guntert—Zimmermann-féle csúszózsalus finiser beszerzési ára kb. 800 000,— DM nagyságú lett volna [64]. 1969-ben Franciaországban ugyanez a finisertípus 1,4 millió új frank árral szerepelt (az ágyazatkészítéshez alkalmazott terítőládával együtt). A gépköltségtöbblet a munkabérköltség megtakarítást jóval felemésztheti közepes teljesítménynél is. Hazai viszonyok között az egyrétegű beton olcsóbb formasínes gépláncával (1 betonelosztó, 1 finiser, 1 utánsímítóval) szembena gépköltség különbsége még sokkal nagyobb.

c) A csúszózsalus finiser a nagy hosszakban, folyamatos nagy teljesítményekkel végzett autópálya-építéseknél lehet gazdaságos, ahol a munkahely egyszerre kész a 20 km-en felüli hosszban való folyamatos betonozásra. Ez Európában elég ritka. Évenként két ilyen nagy munkával kell számolni legalább a rentabilitáshoz.

d) A csúszózsalus finiser kiszolgálásához, hogy ne álljon túlságosan sokat, és legalább napi 600 m körül tudjon haladni, már igen nagy teljesítményű, 200...250 m³/h kapacitású keverőtelep kell, kiváló folyamatos anyagellátás (óránként 500...600 t adalékanyag és cement fogy), és kifogástalan szervezettségű betonszállítás (percen belüli tehergépkocsi-érkezések) szükségesek. A fenti keverőtelep és kiszolgálás az 1970. évi — kétségtelenül túl kis méretű 50...60 m³/h teljesítményű — magyar autópálya-keverőtelep nagyságnak kb. négyszeres nagysága.

e) A betontechnológiával, a betonminőség egyenletességével szemben sokkal nagyobb követelmények vannak, a technológia kényesebb, nincs mód a finiserrel visszaállni és egy-egy hibás helyet javítva, kivételesen többször végigmenni a finiserrel a betonlemezen. (Ezt a finiser szerkezete, a tű- és csővibrátorok, a préselőlemez alakja nem engedi.)

f) Az ágyazattal szemben nagyobbak a minőségi igények, ami költségtöbbletet okoz. Egyrészt 70...70 cm szélesebb ágyazat kell a formasínnél jóval szélesebb lánctalpak számára. Másrészt a magassági pontossága is nagyobb kell legyen az ágyazatnak.

g) A teljes hullámmentes, egyenletes felületet itt külön

utánsimítógép hiányában csak speciális felületgyalulógép segítségével lehet elérni.

h) Hazánkban nem lenne hátrány, más országban azonban annak számít: nem lehet kétrétegű betont készíteni (alsó réteget olcsóbb homokos kavicsból), s nem lehet lemezvasalást, hézagbetéteket alkalmazni egyszerű módon.

A formasínes építési mód

Előnyök:

a) Helyes betontechnológiát feltételezve, a formasínes építési módnál a betonburkolat jó minőségét egyszerűbb módon, kevesebb kockázattal és kisebb költséggel lehet biztosítani; a legkiválóbb minőség előállítására pedig elsősorban ez az építési eljárás alkalmas.

b) A formasínes elv szerint dolgozó korszerű géplánc összes gépei és tartozéka egyrétegű kivitelben fele összegnél kisebb gépbeszerzési költséggel szerepelnek a csúszózsalus géppel szemben, így a gépköltségek kis és közepes teljesítményeknél is reális keretek között mozognak. (Kétrétegű betont készítő nagyobb gépláncnak is majdnem 40%-kal kisebb beszerzési ára van.)

c) A formasínes géplánc teljesítménye szintén csupán a betonkeverő-telep kapacitásától függ. Ha az nagy, akkor elérték már az 1000 m napi teljesítményt is. A napi 600 m teljesítmény a bedolgozó géplánc szempontjából huzamosan teljesíthető.

d) A formasínes géplánc ugyanakkor a kis és közepes építési teljesítmény-szükségleteknél is még gazdaságos tud maradni, mert alkalmasabb a kisebb sebességekre és a kisebb keverőtelep-kapacitásokra is. A kisebb gépköltséget már kisebb évi épített munkahossz is elviselhetővé teszi.

e) A géplánc különálló nivelláló—utánsimító gépegysége jobban létrehozza a felületi egyenletességet, s így szükségtelenné teszi a kész beton utólagos felületi gyalulását géppel.

f) A formasínes gépláncnál a kétrétegű beton, a teherátadó vasalással történő, sőt a felületi lemezvasalás is egyszerűen alkalmazható. Ugyanezek csúszózsalus gépnél vagy egyáltalán nem, vagy részben igen nehézkesen oldhatók meg.

Hátrányok:

a) A forma—járósíneket gondosan ki kell tűzni és jelentős munkával gondosan le kell fektetni.

b) A burkolatépítés nem egyetlen géppel történik, hanem egy egymásután gördülő, s kissé így elhúzódó gépsorral (terítőgép, finiser, vibrálógép, utánsimító). Ugyanakkor viszont inkább előnynek vehető a vibrálógép és az utánsimítógép különállása és egymásutáni működése, ami a vibrált felületet elsimítja.

c) A betonburkolat-építés összköltségében a munkabér viszonylag nagyobb összeggel szerepel, s az eleven munkaerőszükséglet kissé nagyobb, mint a csúszózsalus módszernél. Az irodalomban néhol említett 20 fős megtakarítás azonban csak részben a csúszózsalus építési mód hatása: csak a kétrétegű, lemezvasalásos, minden hézagnál vasalásos, terjeszkedőhézagos, tehát különben is munkaigényes régebbi módszert hasonlították össze az 5 m-enként bevibrált, vasalatlan hézagú, lemezvasalás nélküli egyrétegű betonlemez építésével, ami formasínes módszerrel éppen úgy építhető, s épül is. Reálisabb összehasonlítás: Franciaországban 1969-ben csúszózsalus gép mellett 13 fő dolgozott (528. oldal), Magyarországon egyrétegű betonnál a bedolgozó géplánc mellett 40 fő. Bár a francia előrehaladás 600 m, a magyar 300 m volt naponta teljes üzem esetén, ez nem a bedolgozó géplánc melletti létszámtól, hanem a keverőtelep-kapacitástól függött.

d) A formasínes géplánc virtuális hátrányaként jelentkezik állandó korszerűsítése mellett is a „hagyományos", megszokottabb volta, mivel a „korszerűség" fogalma nem párosul önkéntelenül. Így — a szakirodalomban az utolsó évtizedben viszonylag kevesebbet szerepelve — a formasínes módszer néha az „erkölcsi avulás" gyanújába kerül.

Összehasonlítva a két építési technológiát, látható, hogy a *csúszózsalus* építési módszer elsősorban a nagy teljesítményeknél és a folyamatos, nagy hosszúságban épülő autópályák esetén, igen nagy keverőtelepek, kiváló anyagellátás esetén gazdaságos és előnyös, főleg, ha az illető országnak vagy nem voltak egyáltalán betonépítési tapasztalatai, eszközei, vagy huzamosan szünetelt előzőleg a nagyobb arányú betonútépítés.

A *formasínes módszer* további alkalmazása kézenfekvő azokban az államokban, ahol erre a módszerre építési tapasztalat, meglevő gépek vannak, különösen abban az esetben pl. hazánkban, amikor a szükséges évi építési teljesítmények egy gépláncra vonatkozóan közepesek vagy inkább kicsik.

Így tárgyilagosan ítélve nem lehet egyik módszerre sem elmondani, hogy korszerűbb a másiknál; különösen nem lehet azt állítani (pl. formasínes géplánccal elkövetett építési hibák esetén), hogy a csúszózsalus módszer újabb, tehát korszerűbb és vele jobb minőség érhető el. Éppen fordítva: a minőség biztosításának rizikója a formasínes módszernél a kisebb. A francia csúszózsalus építési módot ismertetve *Reverdy* írja 1965-ben [55]: „Nem lehet azonban azt állítani, hogy ugyanazokat az eredményeket nem lehetne elérni a hagyományos formasínes betonútépítő géplánccal, ha az elegendő hatékony utánsimítókkal el van látva. A csúszózsalus módszer Franciaországban való bevezetése azért volt igen eredményes, mert vele egyidejűleg egy sor tőle független technikai javítást is bevezettek, úgymint a jobb betontechnológiát, a légpórusképző anyagokat, a hézagvágást, az ágyazat megerősítését." Hozzátehetjük még, hogy érezhető volt a francia szakirodalom és szakkörök hagyományos elzárkózása a német tapasztalatoktól, s ugyanakkor az amerikai technikai megoldások iránti előszeretet.

A fentiek után eléggé érthető, hogy Nyugat-Németországban, Svájcban, Ausztriában a csúszózsalus építési mód nem tudott tért hódítani a legutóbbi időkig igen jelentős betonút-

építéseik mellett sem. Érdekes viszont, hogy az NDK és Csehszlovákia a jövőben évi 80...100 km teljesítményre tervezett autópálya-hálózat építésüknél a francia tapasztalatok és a csúszózsalus finiser bevezetését határozták el 1...1 gép megvásárlásával, részben politikai—gazdasági szempontokból, részben pedig a rendkívüli munkaerőhiányuk szorítását érezve.

Hazánkban az adottságok és feladatok, valamint a meglevő, 1969-ben is újra beszerzett legkorszerűbb ABG formasínes rendszerű géplánc jó tapasztalatai még jó ideig nem indokolhatják az áttérést a csúszózsalus technológiára.

7.5.5. Kisforgalmú utak betonburkolatának építése aszfaltfiniser típusú csúszózsalus módszerrel

Kisforgalmú utak, elsősorban a fontosabb mezőgazdasági utak burkolatául külföldön már nagyobb mértékben, az utóbbi időben azonban már Magyarországon is alkalmaznak betonburkolatot. Létjogosultsága ezeknek természetesen csak akkor van, ha gazdasági szempontból is versenyképes a stabilizált alapú könnyű aszfaltburkolatokkal. A gazdaságos alkalmazás műszaki feltételei a következők:

a) Közelről beszerezhető olcsó helyi anyagként adódó beton-adalékanyag, amely alkalmas egyszerű betonkeverőtelep felállítására.

b) Kedvező minőségű földmunka, amely jól tömöríthető és jól profilba hozható.

c) Gazdaságos építési módszer, pl. aszfaltfiniser típusú csúszózsalus finiserrel, formasínek nélkül.

Az ilyen mezőgazdasági utak általában egynyomúak, 3 m szélesek, kitérőkkel. Előnyük részben a tartósság, részben a fenntartási munkák iránti rendkívüli igénytelenség és ezáltal költségmegtakarítás. Különösen előnyös tulajdonságuk a mezőgazdasági betonburkolatoknak a tavaszi olvadási károk és az egy nyomon való közlekedésből eredő károk iránti érzéketlenség.

Az ilyen betonburkolatok vastagsága 15 cm körüli szokott lenni a beton kétfrakciós (0...5 m homok, 5-$d_{max.}$/kavics vagy tört helyi kőanyag), a cementadagolás 300 kg/cm². A 2...3% oldaleséssel készült burkolatban a vakhézagok 3...5 m-enként készülnek. Külföldön dilatációs hézagot legtöbbször nem alkalmaznak, hazai előírásunk még 50...100 m-enként ajánlja ezek létesítését.

A betonlemez építése csak akkor gazdaságos, ha az olcsó helyi anyagból készített betont gazdaságos, egyszerű módon lehet bedolgozni. Ezt teszik lehetővé a csúszózsalus betonfiniserek, amelyek az európai mezőgazdasági utakon 1962 óta, hazánkban 1969 óta kerültek alkalmazásra.

Ezek a csúszózsalus betonfiniserek *elvileg különböznek* az autópályákon alkalmazott, az előbb tárgyalt csúszózsalus finiserektől. Az itt alkalmazott gépek lényegükben az *aszfaltfiniserekből* alakultak ki. Nem rendelkeznek sem tűvibrátorsorral, sem csővibrátorral, sem nyomásátadó préselő lappal;



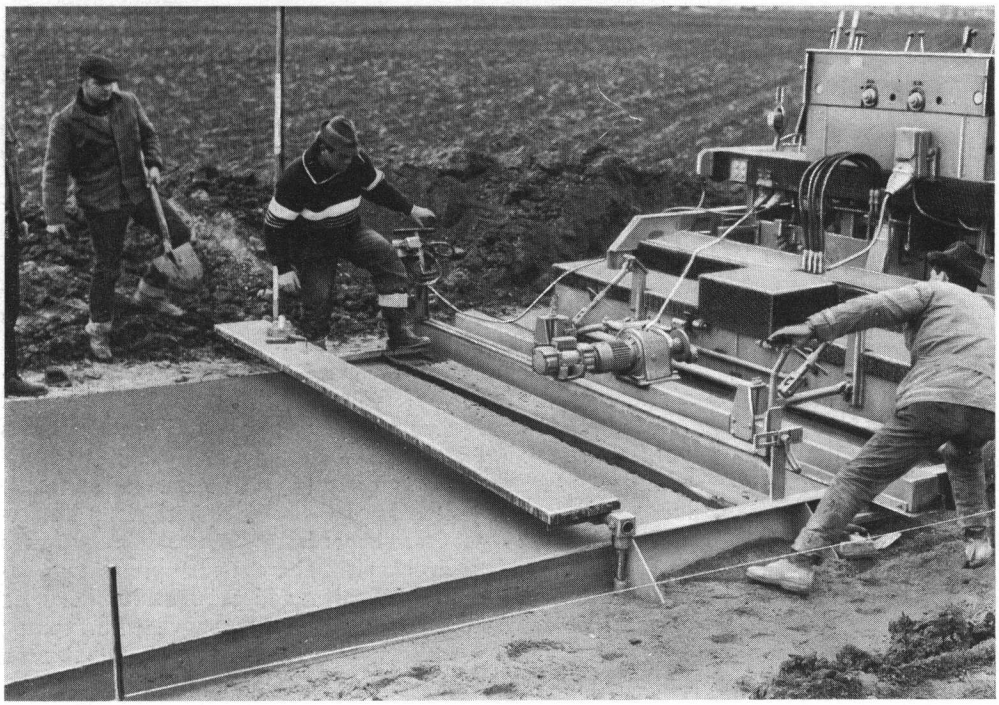
7.23 kép. *Vögele* típusú *(Super 200)* lánctalpas aszfaltfiniserből alakított csúszózsalus betonfiniser gazdasági betonutat épít

a betont sem a tükörbe öntik a gép elé, a gép nem vibrálja folyós állapotúvá maga alá a betont.

Ezzel szemben az itt alkalmazott gépek — mint pl. a hazánkban is használt *ABG*, valamint a *Vögele* gyártmányú, a 7-72. ábrán látható jellegrajzú csúszózsalus finiserek — közös vonása, hogy mint az aszfaltfinisereknél, a betont a tehergépkocsi hátramenetben a gép befogadó tartályába üríti. Innen a beton vagy terelőlapátok segítségével, vagy az aszfaltfinisernél is szokásos kaparószalag és oldalirányú két elosztó csiga segítségével terítik el a gyöngén plasztikus állapotú betont a kétoldali határolást adó csúszózsaluk közé, az adott pl. 15 cm vastagságban. A *tömörítést* vagy lapvibrátorsor és vibrátoros simítópalló, vagy döngölőtag és vibrátoros simítógerenda végzi el. A lassan haladó lánctalpas bedolgozó-

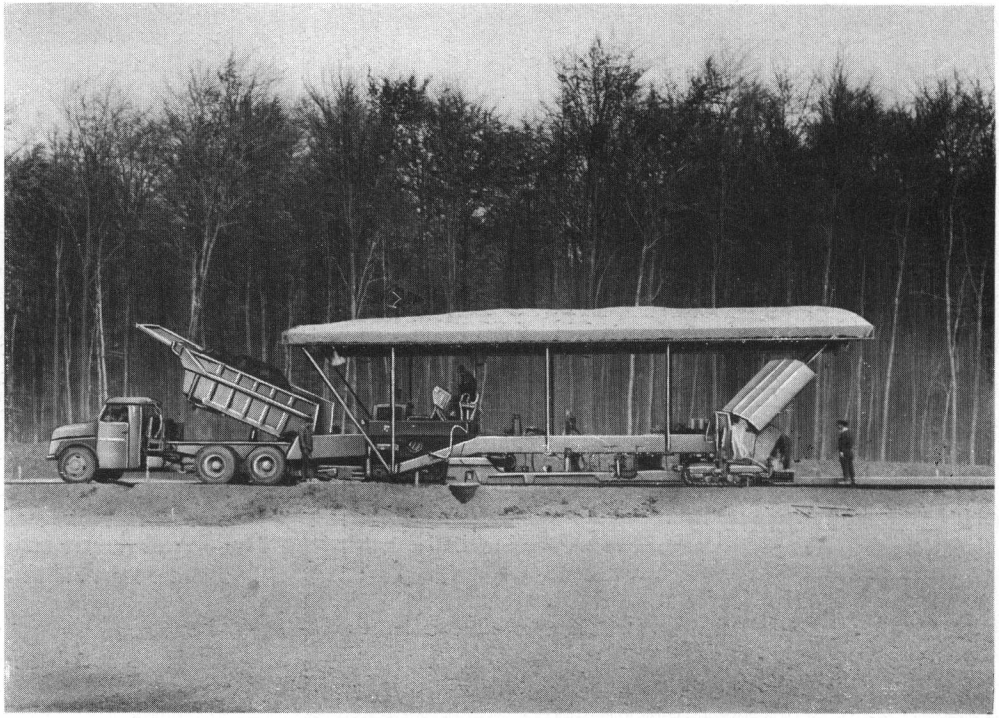


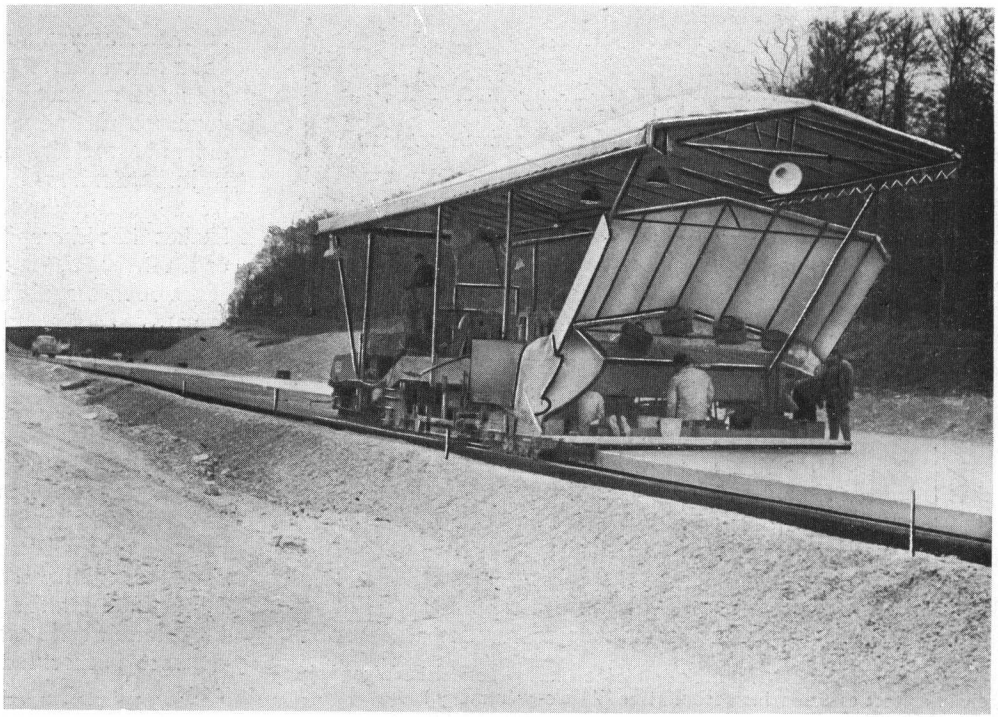
7.24 kép. Gazdasági betonútépítés Vögele típusú csúszózsalus finiserrel



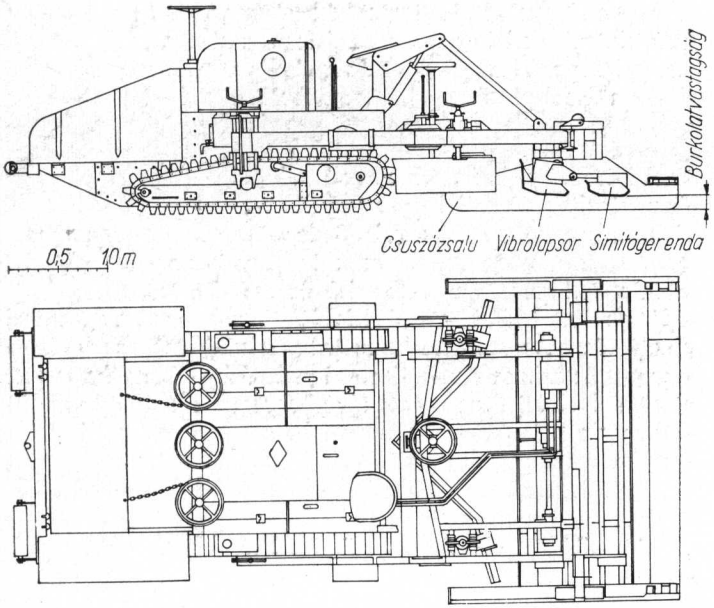
7.25 kép. A kereszthézag bevibrálása gazdasági betonút építésekor

7.26 kép. Autópálya leállósáv betonburkolatának építése *Vögele Super 200* aszfaltfiniserből fejlesztett csúszózsalus finiserrel (1970.)

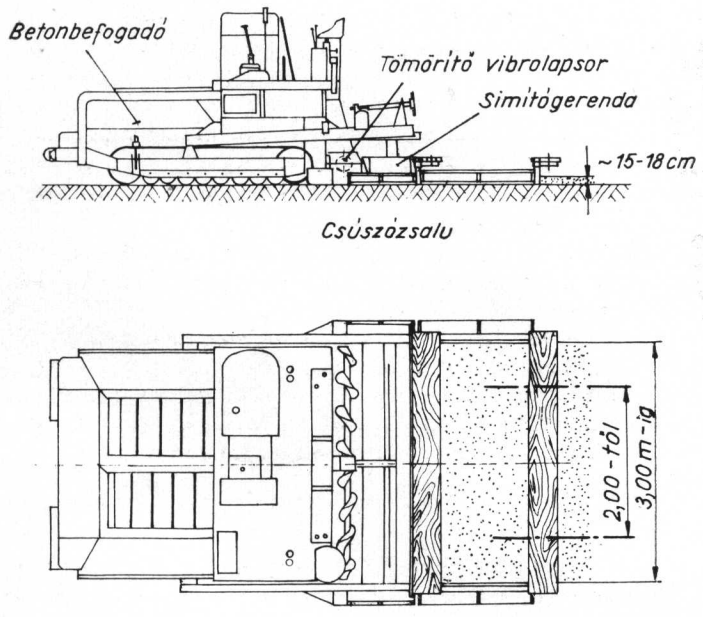




7.27 kép. A finiser mögött a bevibrált hézagokat kézimunkával igazítják



7-72a. ábra. Mezőgazdasági utak építésére alkalmas csúszózsalus kisfiniser elrendezése (*ABG* gyártmány)



7-72b. ábra. Mezőgazdasági utak építésére alkalmas, aszfaltbedolgozógép elvén épített csúszózsalus betonfiniser (*Vögele*-gyártmány.)

gép így egy jól betömörített, zárt felületű betonlemezt hagy maga után. Természetes, hogy ügyelni kell a kevert és szállított beton jó bedolgozhatóságára és egyenletességére. A kissé több finom homok és esetleg légpórusképző alkalmazása is elősegíti, hogy a csúszózsalutól kikerülő élek jól megálljanak letöredezés nélkül.

A *hézagalakítás* igen egyszerű lehet: csak vakhézagokat ajánlatos alkalmazni. Itt a felületi egyenetlenség iránt a kis sebesség miatt kisebb a követelmény, ezért a hézagok utólagos beverése vagy bevibrálása kielégítő hatású. A hézagokat a 3 m széles burkolatnál akár egyszerűen egy T szögvassal is be lehet a friss betonba kézzel ütni. Helyesebben azonban a vágó szögvashoz egy tűvibrátort hegeszteni, s ezzel lehet bevibrálni a hézagokat. A hézagok szélét megfelelően le kell simítani, megszilárdulás után érdemes kiönteni.

Az *utánkezelés* legolcsóbb módja a filmes utánkezelés. A védőfilmet kézi permetezéssel viszik fel, nemcsak a felső, hanem az oldalsó felületekre is. Az utánkezeléshez hozzátartozik különösen hűvös éjszaka lehetősége esetén a friss permetezett beton *száraz* védőanyaggal (jutaszőnyeggel, szalmaréteggel stb.) való letakarása.

7.5.6. Betonburkolat-építés anyagvizsgálata és ellenőrzése

A betonburkolat építése során 3 csoportban és rendszerint 3 helyen végeznek betonvizsgálatokat.

1. *Építés előtti betonvizsgálatok* (rendszerint egy központi laboratóriumban), amikor a felhasználni szándékolt anyagokból megtervezett betont több variánsban vizsgálják annak eldöntésére, hogy a tervezett beton-receptúra kellő bedolgozhatóságú és amellett kellő húzószilárdságú beton üzemi méretű gyártására alkalmas-e. A jóváhagyást az építtető végzi.

2. *Építés alatti betonvizsgálatok* (elsősorban az építő vállalat helyszíni, kötelezően berendezendő laboratóriumában). Ezeket az egész építés alatt folyamatosan kell végezni annak érdekében, hogy a beérkező cement és adalékanyagok minőségét ellenőrizzék, a szemeloszlásban vagy főleg a nedvességtartalomban történő változásokat a keverék-összetétel megfelelő módosításával figyelembe vegyék, majd a megkevert beton minőségét viszonylag hamar úgy ellenőrizzék, hogy mód legyen még az építés alatt az esetleges hiányosságok okainak megkeresésére és megszüntetésére, a folyamatos gyártás-ellenőrzés elveinek megfelelően.

3. *Építés utáni betonvizsgálatok* (az építtető által kijelölt anyagvizsgáló intézet laboratóriumában végzik). Ezen vizsgálatok már a betonburkolatból utólag kivágott, kifúrt betonminták szilárdsági vizsgálatára, valamint a betonlemez felületének minőségi vizsgálatára terjednek ki, céljuk az elkészült burkolat minőségi megítélése az építő vállalat és az építtető közötti átadás—átvételi eljárás lefolytatása érdekében.

7.5.6.1. Építés előtti betonvizsgálatok

Módszereit az általános betontechnológia sokhelyütt tárgyalja, az útbetontervezés külön szempontjait az előzőekben a 7.3.2. fejezetben összefoglaltuk. Így csak az elvégzendő főbb vizsgálatokat soroljuk fel:

A) *Cement és adalékanyagok vizsgálatai:*
   a) cement minőségének vizsgálata,
   b) a kőanyagok kőminősége és szemcsealakja,
   c) az adalék káros részeinek mennyisége (por, szerves anyag stb.),
   d) nedvességtartalom,
   e) az egyes frakciók saját szemeloszlása,
   f) a betonkeverék tervezett összetétele.

B) *Friss betonnal végzett vizsgálatok:*
   a) friss beton térfogatsúlya,
   b) bedolgozhatóság, konzisztencia (esetleg thixotrópia) vizsgálata,
   c) légpórustartalom mérése,
   d) a keverék összetételének utólagos ellenőrzése.

C) *Szilárd betonnal végzett vizsgálatok*, külön a légpórusképzőt tartalmazó betonnál, valamint az anélkül készített nullbetonnál:
   a) a beton térfogatsúlyának vizsgálata,
   b) a nyomószilárdság vizsgálata,
   c) a húzószilárdság vizsgálata.

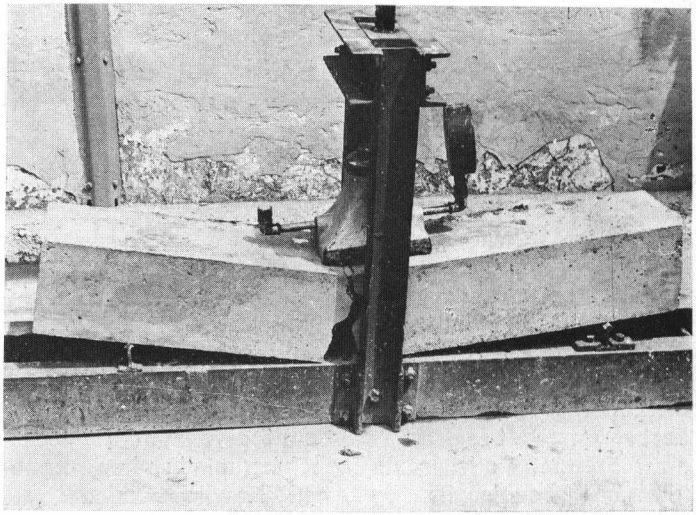
Megjegyzendő, hogy az előzetes laboratóriumi vizsgálatnál általában 10%-kal nagyobb szilárdságot kell elérni, mint amit a betonburkolatra a szabályzat előír. Számítani kell ugyanis arra, hogy a nagytömegű üzemi beton előállításánál az adalékösszetétel, a víz—cement-tényező értékeiben ingadozások várhatók. Ezért a 10% tartalékot a legtöbb külföldi szabályzat az útbetontervezésnél előírja.

Az 1970. évi hazai előírások szerint a megrendelő a laboratóriumban légpórusképző nélkül készített ún. nullbetonnál követelheti meg a 10%-os szilárdságtöbbletet mind húzás, mind nyomás esetén az átlagos előírt értékhez képest, a légpórusos betonnál nem követelhető meg a 10%-os többlet.

7.5.6.2. Építés alatti betonvizsgálatok

Az építés során a keverőtelepen felállított helyszíni laboratórium felszerelésének olyannak kell lenni, hogy az alábbi fő vizsgálatokat el tudja végezni:

— beton-adalékanyag, annak víztartalma és a víz vizsgálata (MSZ 4713),
— a cement őrlésfinomságának, kötésidejének és térfogat állandóságának, zsugorodásának ellenőrzése,
— a friss betonkeverék vizsgálata (MSZ 4714),



7.28 kép. Betongerenda helyszíni törése betonútépítési munkahelyen. A sajtó az erőt két ponton adja át a gerendának a hazai hajlító-húzószilárdság vizsgálati előírások szerint

— próbahasáb hajlítószilárdságának vizsgálata (MSZ 4715),
— légpórustartalom vizsgálata.

A helyszíni laboratóriumban a felszerelés tegye lehetővé a következő számú próbatestek egyidejű elkészítését és utókezelését:

6 db 200×200× 700 mm méretű betongerenda,
3 db 200×200×1300 mm méretű betongerenda,
6 db 200 mm élhosszúságú betonkocka.

Előírás az 1971. évi ÉKSZ szerint, hogy

— minden munkanapon, vagy minden 200 m hosszú útszakasznál, vagy minden 1500 m² térburkolatnál legalább 1 db 200×200×1300 mm-es betongerendát kell készíteni a keverőtelep betonjából,
— minden megkezdett 1 km betonút (vagy 6000 m² térburkolat) anyagából a keverőtelepen találomra kiválasztott keverésekből
  5 db 200×200×700 mm méretű gerendát és
  5 db 200 mm élhosszú kockát kell
  készíteni és az MSZ 4715 szabvány szerint utókezelni,
— naponta háromszor, legalább 3...3 óra különbséggel meg kell mérni a friss beton légpórustartalmát.

Az elkészített próbatesteket rendszeresen el kell törni, mégpedig:

— 7 napos korban az 1,30 m-es gerendát, s a kapott hajlítószilárdságnak a 28 napos korra előírt érték 70%-át kell elérnie, azaz pl. autópályánál $0{,}7 \cdot 50 = 35$ kp/cm² értéket,

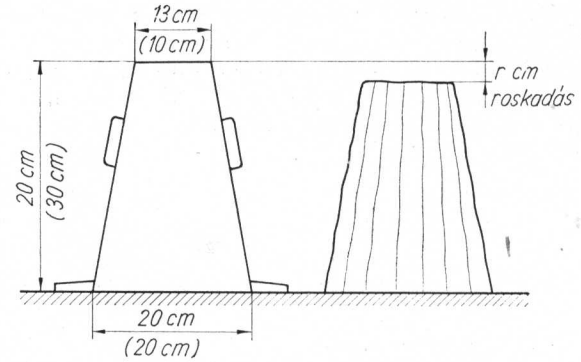
— 28 napos korban el kell törni a kockákat és a gerendákat, s ekkor a szilárdságoknak el kell érniük a 28 napos előírt értékeket, pl. autópályánál átlag 50 kp/cm² hajlító—húzószilárdságot, átlag 450 kp/cm² nyomószilárdságot.

Eddig az előírások. Jelentős és nehezen elkerülhető hátrányuk, hogy csak egy hét, illetve négy hét múlva adnak eredményt a szilárdsági értékekről, így a közvetlen beavatkozás lehetőségét ezen vizsgálatok nem adják meg.

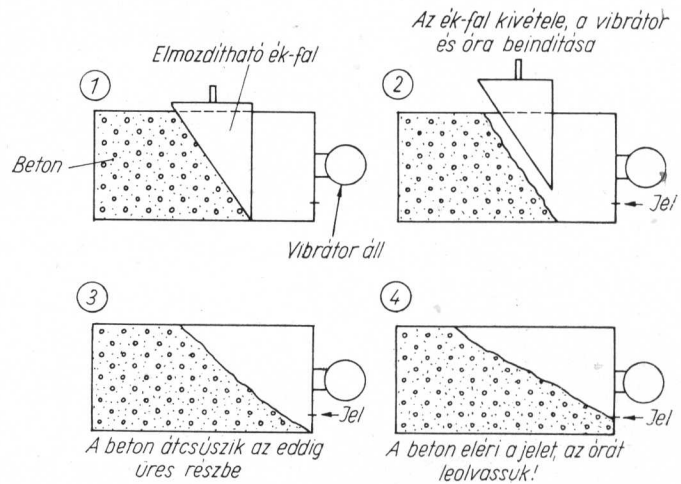
Éppen ezért a korszerű útbeton-keverőtelep helyszíni laboratóriumának munkája jóval túlmegy a fenti előírt próbatestkészítés és törés munkáján. Elsősorban arra törekszik, hogy az állandó — *lehetőleg kontrollkártyás rendszerű* — gyártásellenőrzés megszervezésével és végrehajtásával mindig kézben tartsa a beépített beton minőségét, mind a repedésmegelőzés, mind a szilárdság biztosítása, mind pedig az egyenletesség, jó bedolgozhatóság és kellő légpórustartalom létrehozása érdekében.

Így jó példaképpen közöljük a Párizs—Lyon közötti A-6 autópálya La Vandenesse-i építési szakaszának 240 m³/h teljesítményű keverőtelepén 1969 nyarán alkalmazott helyszíni laboratóriumi ellenőrzési műveleteket, Bálint Árpád és dr. Bényei András helyszínről adott közlése szerint.

1. *Roskadási próba* az Abrams-féle kúppal a finiser mellett. A gépkocsiból vett betonnal végzik *félóránként*, azaz minden 120 m³ betonnál. A betonkúp roskadása 2...5 cm között szokott lenni, fontos az egyenletes konzisztencia (7-73. ábra).
2. *Légpórustartalom-mérés* a friss betonnál. A finiser mellett, a gépkocsiból vett betonnal végzik, *félóránként*, azaz minden 120 m³ betonnál.
3. *Víztartalommérés* a friss betonnál a keverőtelepen, *félóránként*, azaz minden 120 m³ betonnál. Lemért súlyú friss betont légpiknométerbe tesznek, ott a nyomáskiegyenlítés módszerével meghatározzák tapasztalati diagram alapján a beton víztartalmát térfogat%-ban.
4. *Plaszticitás—bedolgozhatóság mérését* a friss betonnál a keverőtelepen *2 óránként* végzik, egy speciális francia LCPC Lesage-féle bedolgozhatóságmérő berendezéssel, amelyet a 7-74. ábrán láthatunk [56, 64]. Az acélfalú ládát egy ékes rész egy kisebb és egy nagyobb részre osztja. A nagyobb részt kitöltik a vizsgálandó betonnal. A láda oldalait vibráló berendezést megindítva egyidejűleg kiveszik az elválasztó ékes alakú falat, s mérik azt az időt, amelynél a beton elterülve eléri a láda előzőleg üres oldalán elhelyezett magasságjeleket. A kapott idő mp-ben jól jellemzi a beton bedolgozhatóságát.
5. *Friss beton szemeloszlás és cementtartalom vizsgálata* a keverőtelepen *egy óránként* megy végbe. A friss betont rázóasztalon levő szitasorozatra téve alaposan átmossák, s kiszárítva pontosan meghatározzák a beton adalékanyagának



7-73. ábra. A beton konzisztenciáját a közismert roskadási próbával ellenőrizzük



7-74. ábra. Francia vibrációs beton-bedolgozhatósági mérőláda (LCPC-Lesage, [56, 64]). A bedolgozhatóság mérőszáma az az idő (s), amely alatt a vibrált beton eléri a láda jobb oldalán levő jelet

szemeloszlási görbéjét és cementtartalmát óránként. Az eredményeket diagramban ábrázolják, így a napközbeni eltérések azonnal jól láthatók.

6. *A betonkeverés egyenletességét* teljesen automatikusan és folyamatosan ellenőrzik, mert a keverőgépet hajtó elektromotor áramfelvételét, teljesítményszükségletét az idő függvényében rajzolószerkezet rajzolja diagramba minden keverésnél; ezek összehasonlításával jól megítélhető, hogy változott-e az egyes keverékeknél az áramfelvétel. Változás esetén más anyagösszetétel, legtöbbször azonban más nedvességű adalékanyag, azaz más víztartalom állapítható meg.
7. Naponta legalább egyszer, reggel az *adalékdepóniák szemeloszlását és természetes víztartalmát* megállapítják az az-

napi keverés indulásához. A további változásokra már a folyamatos kész beton víztartalommérése (3. pont) félóránként, a szemeloszlás-változásokra a friss beton szemeloszlás-vizsgálata (5. pont) óránként rávilágít.

8. *Szilárdsági vizsgálatok* számára (csak húzószilárdságot vizsgálnak, nyomószilárdságot nem) *két naponként* készítenek összesen 6 db hasábot, 14×14×56 cm méretekkel. Ezekből hármat 7 napos korban, hármat pedig 28 napos korban eltörve meghatározzák a hajlító—húzószilárdságokat.
9. *Cementvizsgálatot* nem a helyszíni laboratórium végzi, csupán részt vesz a napi két alkalommal végzett 6...6 kg-os cementmintavételnél. Ezután naponta 1 kg-os nagyságú cementmintát vesz és elcsomagol dátumozva esetleges későbbi vizsgálatok, utólagos ellenőrzések céljaira. A helyszínen a napi kétszeri mintavételnél a cement hőmérsékletét mérik, ez nem lehet magasabb 70 °C-nál.

A fenti naponta sokszor és rendszeresen elvégzendő 1...9. számú vizsgálatok eredményeiről szóló kétpéldányos *jegyzőkönyveket minden következő másnap már egy példányban át kell adni az építtető laboratóriumának a közeli városban.*

A *cement ellenőrzését* a napi beszállított két minta alapján az építtető *Auton* városban levő laboratóriumában *naponta kétszer* végezték el, a következő három fő vizsgálattal:

a) az őrlési finomság megállapítása a cement fajlagos felületének, Blain-számának megállapításával,

b) a cement kémiai összetételének, ill. az oldhatatlan részek, valamint az SO_3 tartalom nagyságának meghatározása,

c) a cement zsugorodási repedésének (fissuration) vizsgálatát a 470. oldalon és a 7-18. ábrában már ismertetett gyűrű alakú cementhabarcs-próbatest mérésével végzik, s azt vizsgálják, hogy 15 óra előtt vagy után lép fel a zsugorodási repedés. A 15 óra előtt repedő cementet az útépítésre alkalmatlannak tartják.

Ha a francia gyakorlatot a hazaival összehasonlítjuk, s a 4-szeres betongyártási teljesítmények miatt az előírt vizsgálati időknek is a négyszeresét vesszük, akkor a következőket állapíthatjuk meg.

A magyar előírások a francia gyakorlatnál kb. két és félszer sűrűbben rendelik el a szilárdsági vizsgálatok, próbagerendák és próbakockák készítését és eltörését. (Az ÉKSZ szerint kilométerenként, azaz kb. 1650 m³ mennyiségű betononként kell 6+6 próbatest, míg a francia gyakorlatnál pedig kétnaponként legalább 2×2000 = 4000 m³ betont építenek be, s csak ennél készítenek 6 gerendát.)

Ugyanakkor a *francia gyakorlat* igen szigorúan, mondhatni *folyamatosan ellenőrzi a betonkészítés menetét*, az egyes alkotóelemek és a friss beton minőségének *napközbeni minőségi ingadozásait is*, addig a magyar előírások erre csak igen kevés megkötést tesznek, s a hazai gyakorlat 1971-ben még nem élt a belső folyamatos keverőtelep vállalati gyártásellenőrzésnek a francia gyakorlattal csak valamennyire is arányos sűrűségű megvalósításával.

A fenti két összehasonlítás szerint a francia ellenőrzési módszer nagy előnyben van, mivel a napi minőségi ingadozást állandóan megállapítva és figyelve, azonnal közbe tud lépni, ha valami javításra van szükség (cementtartalom, víztartalom, adalékanyag-összetétel stb.). Ilyen jó kontroll esetén a szilárdsági vizsgálatok már bátran lehetnek ritkábbak. Ezzel szemben a magyar gyakorlatot a folyamatos gyártásellenőrzés a keverőtelepen még nem jellemzik a sűrűbb szilárdsági vizsgálat pedig már csak 1...4 hetes késésekkel regisztrálja, hogy jó volt-e 1...4 héttel azelőtt a keverőtelep és a bedolgozás munkája. Gyors közbelépésre, minőségjavításra így nem — vagy sokkal lassabban — adódik lehetőség.

A fenti indokok jól mutatják, hogy a betonkeverő-telepeken — éppúgy, mint az aszfaltkeverő-telepeken — igen célszerű és kívánatos bevezetni a folyamatos gyártásellenőrzést, elsősorban a kivitelező vállalat saját hatáskörén belül.

7.5.6.3. Építés utáni betonvizsgálatok

Az építés utáni beton szilárdsági vizsgálatokat, amelyeknek eredményei részben az átvételi minősítés egyik fontos alapját képezik, a francia gyakorlat szerint rendkívül egyszerűen és logikusan végzik el. Az építés után folyamatosan, a bedolgozás napja utáni 25...28 nap között magfúróval vesznek ki 250 m-enként 4—4 egymás melletti magmintát, azaz 15 cm átmérőjű betonhengert. A kivételi helyet a véletlen számok táblázata alapján, a statisztikai mintavétel szabályai szerint választják meg. A kivett magmintákon 28 napos korukban tiszta húzással megállapítják a *28 napos tiszta húzószilárdságukat.* (A két végén lecsiszolt 1:17 átmérőmagasság arányú hengert epoxigyanta ragasztóval ragasztják két acélhúzópofához, s szakítógépben közvetlenül állapítják meg a 28 napos húzószilárdságot.) Nyomószilárdságot — annak betonútnál valóban eléggé érdektelen volta miatt — nem is mérnek.

Hazánkban régebben csak nyomószilárdságokat mértek ellenőrzésül a betonburkolatból kivett 40×40 cm tömbből kivésett 10×10 cm-es, később 20×20 cm-es kockákon, s csak az építtető külön kérésére vésték ki betongerendát, amelyet két erővel terhelve és eltörve, a hajlító-húzószilárdságot határozták meg.

Jelentős fejlődést hoztak az 1971. évi ÉKSZ előírások, amelyek megengedik, hogy 3 km minősítő szakaszokként 15 db 15 cm átmérőjű magmintát fúrjanak ki. Ezek közül *5 db hengert nyomószilárdságra, 10 db hengert pedig hasító—húzószilárdságra kell töréssel ellenőrizni*, 42 napos korban. Ez az előírás — bár a 28 napos kor több nemzetközi összehasonlítást engedne meg — már jóval egyszerűbb és logikusabb a régebbieknél. (Ugyanakkor az előírás megengedi még egy 30×100 cm-es betontömb kivésését, abból 20×20×70 cm-es gerenda és 10 cm élű kocka fűrészelését is. Így megengedi

a hajlító—húzószilárdság és kocka-nyomószilárdság értékeinek megállapítását is.)

A betonburkolat hazai átvételi módját, s a minőségi osztályokba való sorolását számos, többször változó szempont szerint az ÉKSZ előírások részleteiben tartalmazzák.

A külföldi szilárdsági előírásokkal és eredményekkel kapcsolatos összehasonlítási lehetőségekre vonatkozóan meg kell említenünk, hogy a beton húzó- és nyomószilárdságának egyértelmű megállapítása mindig igen nehéz és kényes művelet, amelynek eredménye rendkívül erősen függ a próbatest méreteitől, az igénybevétel módjától, s az utókezelés módszerétől.

Jellemző és fontos voltuk miatt megemlítjük a következő, tulajdonképpen az általános betontechnológiához tartozó körülményeket:

1. A különbözőképpen megállapított húzószilárdságok számértékei ugyanazon minőségű betonnál szabályosan eltérnek egymástól, tehát mindig meg kell adni, hogy a jelzett húzószilárdság milyen vizsgálati módszerre és milyen próbatestméretre vonatkozik. Így a húzószilárdság megállapítása a következő módokon szokásos:

a) *két erővel* terhelt hajlított gerendával (σ_{H2} kp/cm² *hajlító*—húzószilárdság);
b) *egy erővel* középen terhelt hajlított gerendával (σ_{H1} kp/cm² *hajlító*—húzószilárdság);
c) kifúrt maghenger tiszta húzásával (σ_{Ht} kp/cm² *tiszta* húzószilárdság);
d) kifúrt maghenger palástmenti, élmenti törésével (σ_{Hh} kp/cm² *hasító*—húzószilárdság).

2. A különböző módon megállapított beton-húzószilárdságok egymással való összefüggése csak korrelációs kísérleti összefüggések alapján, empírikusan állapítható meg pontosabban. A nagyságrendi tájékozódást azonban elősegíthetik az alábbi összefüggések:

$$\sigma_{H1} \cong 1{,}15\,\sigma_{H2} \cong 1{,}5\,\sigma_{Hh} \cong 2\sigma_{Ht}.$$

Látható, hogy az eltérés az egyes megállapítási módszerek között jelentős, az 1 erővel terhelt hajlító—húzószilárdság értékéhez képest sorra 15...50...100% körüli eltérés van, az átszámítás tehát nem nélkülözhető.

3. A beton nyomószilárdságának a számértéke is erősen függ attól, hogy 10 cm élű kocka (σ_{K10} kp/cm²), vagy 20 cm élű kocka (σ_{K20} kp/cm²), vagy pedig 15 cm átmérőjű, 22 cm magas henger ($\sigma_{H15,22}$ kp/cm²) törésével állapítottuk meg a szilárdságot.

4. A különbözőképpen megállapított nyomószilárdságok számértékeinek közelítő, tájékoztató összefüggése a következő:

$$\sigma_{K20} \cong 0{,}87 \cdot \sigma_{K10} \cong 1{,}20\,\sigma_{15,20}.$$

5. A próbatest utókezelésének módja, sőt a töréskor jellemző víztartalma jelentősen befolyásolja az eredményt, mégpedig ellenkező irányban a húzó és nyomószilárdság esetén. Ha a 4 hetes utókezelési idő utáni időszakban:

a próbatest *levegőn, szárazon* tárolódott, akkor:
a nyomószilárdság kissé emelkedik,
a hajlító—húzószilárdság jelentősen csökken.

a próbatest *víz alatt tárolva*, nedves állapotban van, akkor:
a nyomószilárdság és a húzószilárdság egyaránt igen kis mértékben emelkedik [8, 9].

Mindezen összefüggéseket adott esetben a betonburkolat szilárdságának értékelésekor szem előtt kell tartani.

7.5.7. Az építési ellenőrzés fő feladatai

Az építővállalat munkáját az építtető, beruházó köteles a helyszínen rendszeresen ellenőrizni. A beruházó képviselője az *építési ellenőr*, aki (vagy akik) megjegyzéseiket az építési naplóba kötelesek bevezetni.

A következőkben az építési ellenőrzés feladatait *Streit* [60] nyomán az alábbiakban soroljuk fel. Folyamatosan ellenőrizni kell tehát a következőket:

1. Időjárási viszonyok
2. Léghőmérséklet
3. Relatív levegőnedvesség
4. Friss beton hőfoka
5. Altalaj tömörsége
6. A fagyvédőréteg anyaga és tömörsége
7. A talajstabilizáció és a bitumenes kavics minősége
8. A durva tükör egyenletessége
9. A finom tükör egyenletessége
10. A víztelenítés hatékonysága
11. A formasínek vízszintes és magassági helyzete
12. A cement tulajdonságai
13. Az adalékanyagok tulajdonságai
14. Az adalék-mérőberendezések pontossága
15. A vízadagoló-berendezés pontossága
16. Az adalékanyag-frakciók egymástól jól elválasztott tárolása
17. Az adalék víztartalma és cement elegendő tartalékolása
18. A keverési idő
19. Egy keverési adag súlya és összetétele
20. A friss beton összetétele
21. A friss beton konzisztenciája
22. Légpórustartalom
23. Betonpróbatestek készítése
24. A betömörített beton térfogatsúlya
25. A hézagbetétek helyes és szilárd helyzete
26. A hézagvasalások és szilárd helyzetük
27. Az esetleges lemezvasalás helyzete, főleg az átfedéseknél
28. A betonelosztógép magassági beállítása

29. A betonfiniser magassági beállítása
30. A beton beépítési időtartama
31. A betonfelület zártsága
32. A betonfelület sík, hullámmentes volta, vezetősávoknál is
33. Az utókezelés hatékonysága
34. A hézagok előállítása, kiképzése (hézagvágás)
35. A hézagok kitisztítása
36. A hézagkiöntő-anyag hőmérséklete
37. A hézagkiöntés kivitelezése

Az ellenőrzéseket rendesen csoportosan végzik, többnyire öt különböző helyen:

1. *Földmunkák, ágyazat* (tömörítés, védőréteg, stabilizáció, bitumenes kavics, durva tükör).

2. *Betonkeverő-telep* (adalékanyagok, betonkeverőgép, szállítás).

3. *Betonbeépítés* (finom tükör, hézagvasalás, formasínek, betonelosztás, finiser tömörítése, beépítési idő, betonfelület).

4. *Utókezelés* (a nedvesen tartás, filmbepermetezés, hézagok vágása, hézagkiöntés).

5. *Laboratórium* (hőfokmérés, cement és adalék vizsgálata, konzisztencia, friss beton összetétele, légpórustartalom, próbatestek készítése és tárolása).

Jellemzésképpen megemlítjük, hogy Franciaországban az A-6 autópálya 15 km hosszú, 60 millió frankba kerülő szakaszának építési ellenőrzését a következő összetételű és felszerelésű *műszaki ellenőrző csoport* ellenőrizte 1969-ben a La Vandenesse-i munkahelyen: 1 vezető, 2 helyettes, 6 ellenőr, 3 adminisztrátor, 1 geodéta 2 figuránssal, 2 laboráns, 1 laboratóriumi segéderővel, 1 sofőri és mindenes munkát végző személy, 2 mérlegelésnél segédkező munkás, *összesen 21 fő*. Rendelkezésükre állt 2 db laboratórium-tehergépkocsi, 1 db mikrobusz, 11 db személygépkocsi. Igen jellemző, hogy az *összesen 14 gépkocsihoz* mindössze 1 sofőr volt, (aki mindenes is). Az ellenőrök, laboránsok maguk vezetik a vállalati kocsikat, s így lehetőségük is van az állandó gyors mozgásra, s a saját laborkocsikkal való gyors vizsgálatokra.

7.5.8. Betonlemezek utólagos javításának elvei

A betonlemez felületének minősége, repedezettsége, hézagok állapota jelentősen befolyásolja a betonburkolat használhatóságát, a közlekedési költségeket, a kifejthető sebességet és az utazáskényelmet, végül a burkolat várható élettartamát is.

Az ÉKSZ következő előírásait említjük meg, amelyek a betonburkolatok átvételénél mértékadóak:

a) *A betonlemez repedéseinek mennyisége* vizsgálandó. Ha 100 m-es szakaszonként külön-külön csak legfeljebb 3 repedés van, ez nem számít minőségi hibának, 4 vagy több repedés már igen. Ha 2 repedés van egy táblán, akkor az önmagában is minőségi hibának számít. A repedéseket bitumenes kiöntőanyaggal, ill. tiszta bitumennel, esetleg műgyanta-anyaggal ki kell önteni úgy, hogy a kiöntések ne okozzanak kerékütéseket az áthaladásnál, s emellett szigeteljék a repedést.

b) *Kitöredezések, kigödrösödés, bomlás* a betonlemez felületén nem lehetnek, még a hézagok és repedések mellett sem. Ha ilyen előfordul, akkor az átadás—átvétel során, ill. a szavatossági idő lejárta előtt végzett utófelület vizsgálatnál megállapított módon a hibás táblákat vagy teljesen, vagy csak részben ki kell vágni teljes vastagságban, s jóminőségű útbetonnal pótolni kell a táblát vagy táblarészt, jó vibrációs tömörítéssel, gondos utókezeléssel. A munkák forgalom alatt, annak gondos biztosítása mellett történnek a kivitelező költségén. Az ÉKSZ rendelkezései szerint,

egész táblát kell kicserélni, ha a tábla területének legalább 25%-án több helyen mutatkozó bomlás, hibás felület, hálósan repedezett felület van. Ha az ilyen hibás felület nem több helyen mutatkozik, hanem egy összefüggő helyen, csak akkor kell az egész táblát kicserélni, ha a tábla területének legalább 65%-át eléri az összefüggő hibás felület;

részbeni táblacserét kell végezni akkor, ha a hibás felület elszórtan, több helyen jelentkezik, de a táblafelület 25%-ánál kisebb összfelületű. Ha a hibás felület egy összefüggő területen jelentkezik, akkor szintén csak részben kell kicserélni a táblát, ha az összefüggő hibás felület az egész tábla felületének 65%-a alatt marad. A részbeni táblacsere esetén a hibás felületű részt vagy részeket derékszögű vonalakkal határolt idommal vagy idomokkal függőleges fallal ki kell vágni teljes mélységben, és úgy kell friss betonnal kitöltve tömöríteni és utókezelni.

IRODALOM

A) Betonburkolatok erőjátéka és anyaga

[1] Beton pályaburkolatok. Építési és Kivitelezési Szabályzat VI. kötet, 4. munkanem. Budapest, 1971.

[2] *Lehotzky Kálmán:* A betonburkolatú utak építésének fejlődése Magyarországon. Mélyépítéstudományi Szemle, 1956. évf.

[3] *Kalmár Istvánné:* Betonutak fagy- és olvasztósó védelme légpórusképzéssel. Mélyépítéstudományi Szemle, 1966. 9. 420.

[4] Az osztrák déli autópálya betonburkolatának építése. (Ism. Strasser Ferenc) Mélyépítéstudományi Szemle, 1967. 11. 498.; Beton Herstellung und Verwendung, 9966. 10.

[5] *Horváth István:* Betonburkolatok I. Mérnöki Továbbképző Intézet Kiadványa, M. 142. Budapest, 1966.

[6] *Nemesdy Ervin:* A forgalmi terhelés nagyságának figyelembevétele az útpályaszerkezetek méretezésénél. Mélyépítéstudományi Szemle, 1966.

[7] *Nemesdy Ervin:* Betonburkolatok igénybevételeinek időszerű kérdései. Mélyépítéstudományi Szemle, 1967. 9. 385.

[8] *Nemesdy Ervin:* A betonburkolatok húzószilárdságának ellenőrzéséről és fokozásáról. Mélyépítéstudományi Szemle, 1966. 11.

[9] *Varga—Roknich—Sági:* Hozzászólás dr. Nemesdy Ervin: A betonburkolatok húzószilárdságának ellenőrzéséről és fokozásáról c. cikkéhez. Mélyépítéstudományi Szemle, 1968. 11. sz. 522. old.

[10] *Mihályfy Árpád:* Az útcementbeton összetételének és bedolgozási technológiájának alapelvei és ezek alkalmazásának eredményei. II. Budapesti Útügyi Konferencia, Budapest, 1969. okt.
[11] *Mihályfy Árpád:* Az útbeton adalékanyaga és a zúzottkőtermékek új előírás-tervezete. Mélyépítéstudományi Szemle, 1969. 10. 436.
[12] *Cságoly József—Buócz Tibor:* Légpórusképző vegyianyagok szerepe a cementbeton burkolatoknál II. Budapesti Útügyi Konferencia, Budapest, 1969. okt.
[13] *Balázs György:* A betonszilárdulás gyorsítása a cement őrlési finomságának növelése útján.
[14] *Volodin:* A betonburkolat ultrahangos szilárdságvizsgálata. Avtomobilnüe Dorogi, 1969. 4. 7.
[15] *Kelley:* Highway Engineering. Mc. Graw Hill.
]15a] *Asworth:* Highway Engineering. Heinemann Educational Books Ltd. 1966. London.
[16] *Blake—Brook:* The construction of major concrete roads in Great Britain. Cement and Concrete Association, Technical Report, London, 1962.
[17] *Raithby—Whiffin:* Feilure of plain concrete under fatique loading. Road Research Laboratory, LR. 231. Crowrthorne, 1968.
[18] *Nowak:* Influence of strength on the performance of concrete stabs. LR. 199. Road Research Laboratory, Crowthorne, 1968.
[19] *Stott—Brook:* Report on a visit to Usa to study blow-up in concrete roads. Road Research Laboratory, LR. 128. Crowthorne, 1968.
[20] *Jeoffroy:* Conception et Construction des Chaussées. Tome 2. Eyrolles Editeur, Paris, 1967.
[21] *Baron—Brachet-Rolland—Pidoux:* Choix des Ciments pour diminuer le risque de fissuration des revetements en béton. 1 er Symposium Européen sur les Revetements Betonnés, Paris, July, 1969.
[22] *Reverdy:* Nouvelles conceptions francaises pour les revetements bétonnés. Paris, 1963.
[23] *Reverdy:* Les chaussées en beton. ASTEF — Conférance, Paris, 1968.
[24] *Moreau:* Technique americaine des chaussées en béton. Revue générale des Routes, № 447. 1969. okt. 124.
[25] *Streit:* Handbuch des Betonstrassenbaues. Bauverlag GmbH. Wiesbaden—Berlin, 1964.
[26] *Sachse:* Der moderne Strassendeckenbau. Verlag Rudolf Müller, Köln—Braunsfeld, 1964.
[27] Der AASHO Road Test. Hauptergebnisse und Folgerungen. Forschungsarbeiten aus dem Strassenwesen, Heft 73, Kirschbaum Verlag, Bad Godesberg, 1968.
[28] *Eisenmann:* Messungen an Versuchsstracken und neue Entwicklungstendenzen bei Betonstrassen. Strasse und Autobahn, 1967. 12. 418.
[29] *Dobrolubov—Romer—Spek:* Zusatzmittel und Luftporenkontrolle beim Einbau von Betonfahrbahndecken. 1-er Symposium Européen sur les Revetements Betonnés, Paris, July 1969.
[30] *Blumel—Springenschmied:* Grundlagen und Praxis der Herstellung und Überwachung von Luftporenbeton. 1-er Symposium Européen sur les Revetements Betonnés, Paris, July 1969.
[31] *Reimer:* Baustoffauswahl und Gütesicherung in der Bundesrepublik Deutschland. 1-er Symposium Européen sur les Revetements Betonnés, Paris, July 1969.
[31a] *Schuster:* Untersuchungsergebnisse von der Raumfugen und bewehrungslosen Betondecken. Strasse und Autobahn, 1970. 6.222.
[31b] *Balázs—Erdélyi:* Útbetonkísérletek. BME Építőanyagok Tanszéke, Közdok, 1970.

B) Betonburkolatok szerkezete

[32] *Matus Erik:* Az első magyar autópálya építése. Mélyépítéstudományi Szemle, 1960.
[33] *Mihályfy Árpád:* Az M-7. autópálya betonburkolata. Mélyépítéstudományi Szemle, 1960.
[34] *Nemesdy Ervin;* Útépítéstan IV. rész. Tankönyvkiadó, Budapest, 1967.
[35] *Horváth István:* Betonburkolatok II. Mérnöki Továbbképző Intézet, Budapest, 1967.
[36] *Apáthy Árpád:* Előfeszített betonburkolatok. Mélyépítéstudományi Szemle, 1960.
[37] *Fordice:* Joints Design for Concrete Pavements. 1-er Symposium Européen sur les Revetements Betonnés, Paris, 1969.
[38] *Eisenmann:* Messungen an Versuchsstrecken und neue Enteicklungstendenzen bei Betonstrassen. Strasse und Autobahn, 1967. 12. 418.
[39] *Zollikofer:* Betonstrassen in der Schweiz und Konstruktion der Nationalstrassen. Strassen und Tiefbau, 1968. 3.
[40] *Geissdörfer:* Ausführung der Betondecken auf der Hansalinie. Strasse und Autobahn, 1968. 7. 231.
[41] *Aaron:* Continuously Reinforced Concrete Pavements-United States Practice. 1-er Symposium Europien sur les Revetements Betonnés, Paris, 1969.
[42] *Eisenmann:* Hauptbericht — Durchlaufend bewehrte Fahrbahnen. 1-er Symposium Européen sur les Revetements Betonnées, Paris, 1969.
[43] *Hinweise* für die Ausführung durchgehend bewehrter Fahrbahndecken aus Beton im Hocheinbau auf alten Betondecken. Fassung Forschungsgesellschaft für des Strassen wesen, Köln, 1968.
[44] *Bruckner—Finsterwalder:* Durchlaufend bewehrte Fahrbahnem in der Bundesrepublik Deutschland. 1-er Symposium Européen sur les Revetements Betonnés, Paris, 1969.
[45] *Zollikofer:* Ausführung und Erfahrung mit Neopren-Fugenverfüllung in der Schweiz. 1-er Symposium Européen sur les Revetements, Paris, 1969.
[46] *Springenschmied:* Versuche und Erfahrungen mit Längs- und Querfugen. 1-er Symposium Européen sur les Revetements Betonnés, Paris, 1969.
[47] *Wrana;* Fugenabstand, Fugenausbildung und sonstige Ausführungsdetails auf österreichischen Autobahnen. 1-er Symposium Européen sur les Revetemets Betonnés, Paris, 1969.

C) Betonburkolatok kivitelezése

[48] Betonpályaburkolatok. Építési és Kivitelezési Szabályzat VI. kötet, 4. munkanem. Budapest, 1971.
[49] *Horváth István:* Betonburkolatok II. rész. Mérnöki Továbbképző Intézet, Budapest, 1967.
[50] *Nemesdy Ervin:* A betonburkolatok húzószilárdságának ellenőrzéséről és fokozásáról. Mélyépítéstudományi Szemle, 1967. 11. 489.
[51] *ifj. Vásárhelyi Boldizsár:* Betonútépítés Franciaországban csúszózsalus finisher alkalmazásával. Mélyépítéstudományi Szemle, 1968. 6. 279.
[52] *Brook:* Construction of concrete paving with a slip-form paver. Technical Report, Cement and Concrete Association, London, Febr. 1964.
[53] *Burks:* Application of the slip-form paver to british road construction. Cement, Lime and Gravel, May. 1965.
[54] *Reverdy:* Nouvelles conceptions franciases pour les revetements betonnés. Paris, 1963.
[55] *Reverdy:* Die neue Bauweise von Betondecken der französischen Autobahnen. Gleitschalungsfertiger. Forschungsgesellschaft für des Strassenwesen, Kirschbaum Verlag, Köln, 1965.
[56] *Baron—Lesage:* Pour un Méthode Pratique de Mesures de la Maniabilité, le Maniabilimétre L. P. C-Lesage. Bulletin de Liaison des Laboratoires Routiers Ponts et Chaussées, № 13. 1960.
[57] *Moreau:* Technique americaine des chaussées en béton. Revue Générale des Routes, 1969. Octobre, 124.
[58] *Richtlinien* für den Bau von Betonfahrbahnen 1963. Hinweise für die Anwendung der RBB beim Bau der Bundesautobahnen und Bundesstrassen, Forschungsgesellschaft für das Strassenwesen, Köln, 1965.

[59] *Hinweise* für die Ausführung durchgehend bewehrter Fahrbahndedken aus Beton im Hocheinbau auf alten Betondecken. Forschungsg. f. d. Strassenwesen, Köln, 1968.
[60] *Streit:* Handbuch des Betonstrassenbaues Bauverlag GMBH. Wiesbaden, Berlin, 1963.
[61] *Albrecht:* Beitrag zur Bewertung flüssiger Nachbehandlungsmittel für Strassenbeton. Strasse und Autobahn, 1962. 6...8.
[62] *Weber:* Möglichkeiten und Erfolge der Rationalisierung im Betonstrassenbau. Strassenbau-Technik, 1964. 17...18.
[63] *Ray—Halm:* Zehn Jahre Gleitschalungsfertiger-Grossgeräte. American Concrete Institut, Beton, 1965. 6.
[64] *Streit:* Über den Einsatz von Gleitschalungsfertigern im Betonstrassenbau. Strasse und Tiefbau, 1965. 12. 1370.
[65] Gleitschalungsfertiger, vorgefertigte Betonplatten, und Spannbetonfahrbahnen im Strassen und Tiefbau. Forschungsgesellschaft für das Strassenwesen, Kirschbaum Verlag, Bad Gadesberg, 1965.
[66] *Mayer:* Herstellung der Fahrbahndecken im Abschnitt der Wien-Südautobahn. Beton, 1966. 10. 411.
[67] *Rolf:* Bau des Betonfahrbahndeckenloses F7 auf der Hansalinie. Baumaschine und Technik, 1968. 3.
[68] *Langhammer;* Moderne Methoden bei der Herstellung von Trag- und Deckschichten ind er Zementbetonbauweise. Technische Informationen in Verkehrsbau, VE Autobahnhankombinat, Kammer der Technik, 1961. 1.
[69] *Althammer:* Bau von Wirtschaftswegen mit Gleitschalungsfertiger. Gleitschalungsfertiger, Forschungesellschaft für des Strassenwesen, Köln, 1965.
[70] *Bodnár Géza:* Kísérleti betonútépítés ABC csúszózsalus finiser alkalmazásával. Útépítés, 1969. 10. 6.