

A FESZÍTETT BETON FEJLŐDÉSE NÉMETORSZÁGBAN*

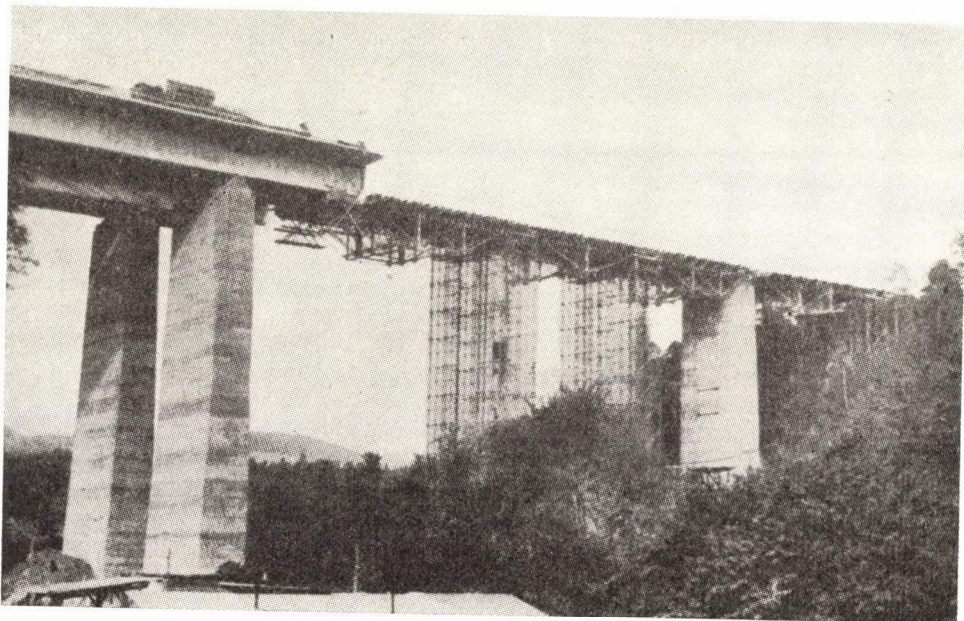
Általános megjegyzések

A feszített beton Németországban az utolsó 12 évben minden képzeletet felülmúló mértékben elterjedt és tökéletesedett. Fejlődése bizonyos vonatkozásban más, mint a többi országoké. Lényeges jellemzője ugyanis a Németországban kialakult feszített betonnak, hogy az épületelemek feszítését csak kicsiny részben végzik gyári üzemben. Messzemenően több a helyszínen készített utófeszített beton. Különbözik tehát a keleti országok feszített betonépítésétől vagy az USA-étól vagy akár Francia- vagy Olaszországtól, ahol az előregyártott feszített betonelemek mennyisége messze túlnyomó.

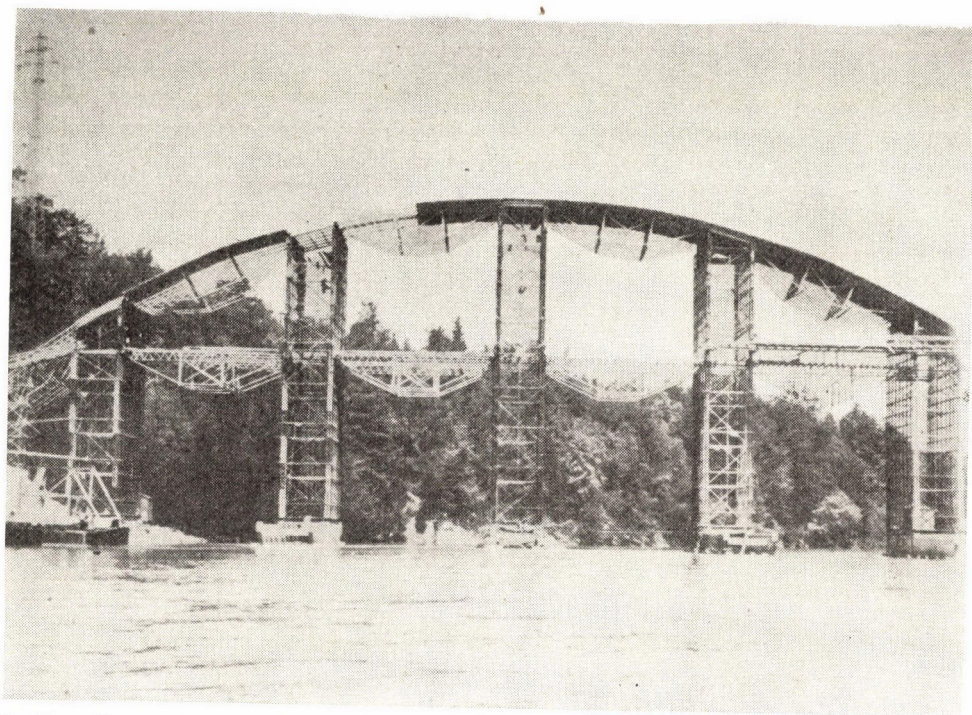
A fejlődésnek ez az eltérése elsősorban arra vezethető vissza, hogy Németországban meglehetősen egyedi módon építenek. Ritkán fordul elő, hogy azonos, sokszor ismétlődő épületelemet használjanak fel az építkezésekhez. A másik, fontosabb oka az eltérő fejlődésnek az, hogy új zsalu- és állványrendszerek, ismételten felhasználható és különböző idomokra könnyen összerakható típusok alakultak ki (1. ábra). Ez vonatkozik mind a pillérekre, mind pedig a szerelőtartókra, amelyeket 4—5 m-es — vagy feszítőmű beiktatásával — 10—15 m-es, sőt még ennél is nagyobb támaszközök áthidalására is lehet alkalmazni (2. ábra). Az utóbbiak legtöbbször hegesztett háromötvű tartók, amikből az állványok mind a magasépítéshez, mind pedig a hídépítéshez egyszerűen és olcsón összeszerelhetők. A zsaluzáshoz legtöbbször nagy alakú préselt, rétegelt falemezből készített táblákat használnak. Előfordulnak azonban nagy, önmagukban merev zsaluzó elemek is, amelyek melegíthetők, úgyhogy a beton gőzölésével, 1—2 napos beépítés után ismét felhasználhatók.

Az építési anyagoknak, így a betonnak a szállítását is igen ügyesen gépesítik az építés helyén. A cementet nagy tartályokban hozzák ki és pneumatikus úton továbbítják. Az adalékanyagokat billenőkocsikkal az automatikus adagoló berendezés töltőnyílásához hozzák. Ezekkel az újításokkal a zsaluzás költsége és különösen a munkabér-szükséglet annyira lecsökken, hogy az építmény előállításának költsége a helyszínen olcsóbb lesz, mint a gyárban előállított előfeszített épületelemek helyszíni összeállítására, ahol a helyszíni kapcsolatok kétségtelenül nehézséget jelentenek. A betonépítmények monolitikus készítésének előnyei vitathatatlanok és mint mérnökök természetesen örömmel üdvözljük, hogy a tervezéshez jóval több szabadságunk van, mint hogyha típusstartókat kellene figyelembe vennünk.

* Dr. Ing. Leonhardt Frigyes stuttgarti egyetemi tanárnak Budapesten, 1961. május hó 16-án megtartott előadása.



1. ábra. A Steinheusle melletti autóúti híd állványozása.
(A híd hossza 224 m, magassága 40 m)

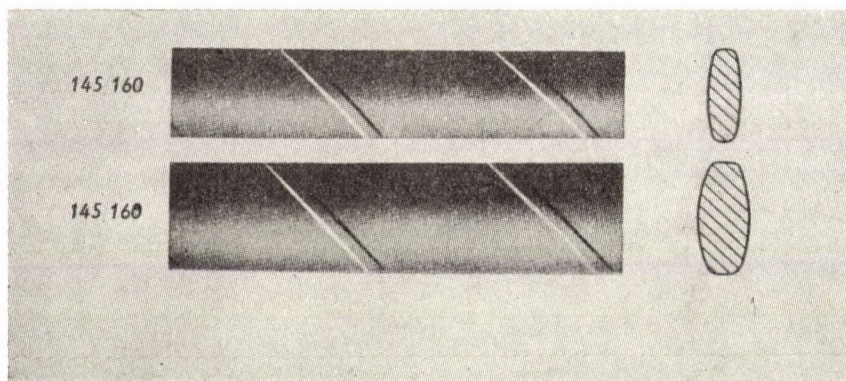


2. ábra. Steinmühlenél a Traun feletti autóhíd állványozása. (Ív támaszköze 110 m, magassága 33 m.)

A feszítő acélok fejlődésének története

Az utófeszítés említett gyakori alkalmazása természetesen befolyásolta a feszítőacélok fejlődését is. A németországi acélművek csupán kicsiny számú olyan feszítő acélbetét-fajtát állítanak elő, amelyek a feszítőpadon végzett előfeszítéshez alkalmasak, mint pl. amilyenek a keresztirányban bordázott ovális 20 és 30 mm² keresztmetszetű 145/160 minőségű acélbetétek (3. ábra). Hidegen húzott huzalokból font pászmákat szintén gyártanak, ezek azonban drágábbak.

Huzalok, drótok. Utófeszítés céljára acélbetétekként a munkabérszükséglet lecsökkentése végett lehetőleg nagy keresztmetszetű acélbetéteket használnak. A régebben gyakran alkalmazott 5 mm Ø-ű acélbetéteket újabban majdnem kizárólag 8 mm Ø-ű acélbetétekkel helyettesítik, sőt beépítenek 10 és 12 mm



3. ábra. Reinhausen AG által gyártott nemesített anyagú szigmaacél profilok

Ø-ű acélbetéteket is, amelyeknek szakitószilárdsága 140–150 kg/mm². A 18,26 és 32 mm Ø-ű *rud-acél*betéteket kezdetben 60/90 minőségben gyártották. Újabban ezeket 80/105 minőségben állítják elő. A szilárdságnövelést a hideghúzást követően végrehajtott hőkezeléssel érik el.

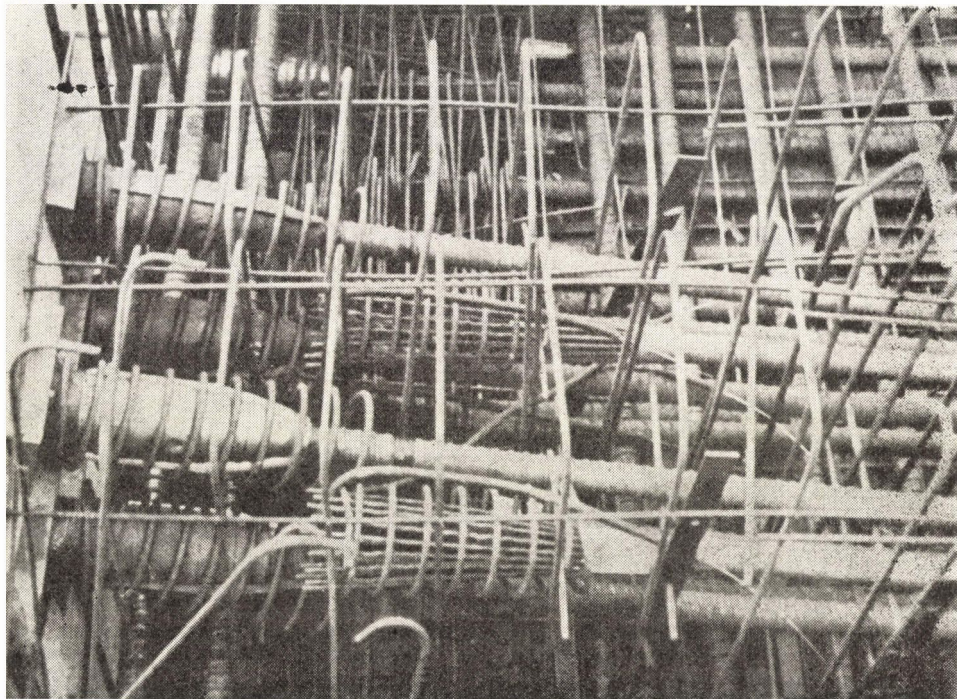
Különleges célokra pászmákat és sodronyköteleket is készítenek Németországban. A pászmákat hét darab 3–4 mm Ø-ű szálból fonják a régebben gyártott 19 szálas pászmák helyett. Ez utóbbiakra ugyanis nehezen voltak kielégíthetők a lehorgonyzásra vonatkozó előírásaink.

Természetes keménységű acélokat feszített beton céljára már nem alkalmaznak Németországban. A feszítőacélok messze túlnyomó részben nemesítettek, vagyis az acélbetétet hőkezelik, olajfürdőben edzik és ólomfürdőben megereszti. Ennek az acélfajtának igen jó mechanikai tulajdonságai vannak, egyetlen hátrányuk a feszültségi korrózió iránti érzékenységük, amit eddig még nem lehetett kiküszöbölni. A hidegen húzott acélokat ma már kivétel nélkül megereszti azért, hogy a kúszási határukat felemeljék. Ez vonatkozik a pászmákra is, amiket csak fonásuk után eresztenek meg.

Nagy gondot fordítanak az acélbetétek védelmére a korrózióval szemben. Az acélbetéteket majdnem kivétel nélkül 2,0–2,5 m átmérőjű karikákban szállítják. Az építés helyén szárazon tárolják. A feszítőbetétek összeépítését tető védelme alatt végzik.

Lehorgonyzások

A magasszilárdságú acélbetétek lehorgonyzására különböző módszereket dolgoztak ki. A nagy számban kifejlesztett feszítési eljárások főleg a lehorgonyzásokban térnek el egymástól. Sokak előtt érthetlenné tűnhetik, hogy Németországban 25 különböző engedélyezett feszítési eljárás van alkalmazásban. Ezt a sokrétűséget a szabadalmi védelemre lehet visszavezetni, ami miatt a feszített betont kezdetben csak az a néhány vállalat alkalmazhatta,

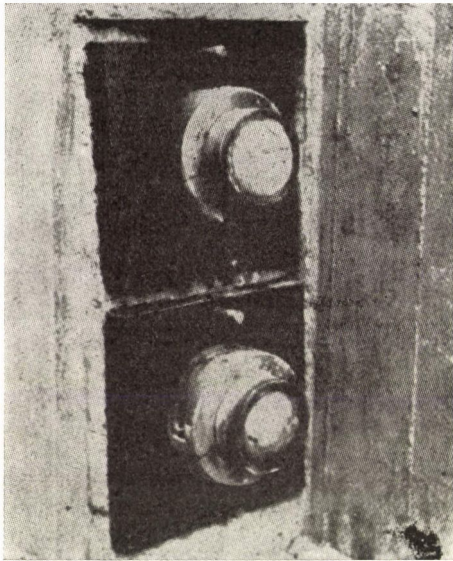


4. ábra. LEOBA S 66 lehorgonyzása

amelyeknek eljárását a szabadalom védte. A többi vállalat így kényszerűségből új eljárásokat fejlesztett ki, amelyek nem estek szabadalmi védelem alá. Ilyen módon nagyon élénk verseny fejlődött ki, ami új találmányokra vezetett és ezáltal természetesen fejlődést eredményezett. Hozzájárult még, hogy új eljárás engedélyezési feltételei rendkívül szigorúak. A tapadás nélkül működő lehorgonyzásokra pl. dinamikus vizsgálatokat is követelnek, ahol a kezdeti feszítési feszültséghez képest nagy feszültség-ingadozást kell az előírás szerint felvenni.

A verseny és ezek az engedélyezési feltételek együttesen vezettek a lehorgonyzások értékes javításaihoz.

Mint példát említi meg *Leonhardt* professzor, hogy az egyszerű ósrégi csavaranyás lehorgonyzás, ami eredetileg a 60/90 minőségű acél esetében mindössze 600—700 kg/cm² feszültségigadozást bírt ki, javítások következtében ma 1400 kg/cm²-nek is jól megfelel. A mángorolt csavarment szelvényét megjavították és a vastag alátétlemezeire helyezett csavaranya helyébe ékalakú anya került, amely a sajtolással előállított vékonyfalú lehorgonyzó harangba befeszül. A dinamikus terhelhetőségek ez úton elérhető megkétszerezése gépek esetében



5. ábra. Két megfeszített, lehorgonyzott és kiinjektált HG 85/24 jelű acélbetét

talán fontosabb, mint a feszített betonban, mindenképpen azonban váratlan technikai előrehaladásnak tekinthető, amit a szabad verseny fejlesztett ki.

Az éklehgonyzásokat is megjavították az idők folyamán és számos változatban alkalmazzák.

Itt mindenekelőtt arra kellett törekedni, hogy az ékek megfelelő kialakításával a felette érzékeny huzalok sérülésének veszélyét csökkentsék és a lehorgonyzást lehetőleg kicsiny, keresztirányú nyomás útján biztosítsák. A svájci BBRV eljárás hideg úton duzzasztott fejeit is lényegesen megjavították új kialakításukkal.

A 4—5. ábrákon látható hurkos lehorgonyzás 1800 kg/cm² amplitúdójú feszültségigadozást enged meg, ami az eddig elért legnagyobb dinamikus igénybevehetőség. Ezt előadó 1950-ben vezette be és eredeti teherbírása azóta is változatlanul megmaradt. Újabban már 8 mm Ø-ű huzalokat is lehorgonyoztak hurkosan.

A hozzátartozó *Leoba*-eljárásnak megfelelően a lehorgonyzó részeket a megkeményedett bepréselt habarcsra támasztják, úgyhogy a feszítés és bepréselés után a betonból nem állanak ki acélrészek. Az ilyen megkeményedett bepréselt habarcsra történő lehorgonyzás a nagy helyi nyomások ellenére is

kifogástalanul sikerült sok ezer esetben, úgyhogy most több eljárás fel is használja.

A lehorgonyzásokkal szemben ma már fontos követelmény, hogy összekapcsolhatók legyenek, vagyis a már megfeszített lehorgonyzáshoz új feszítőacél betétet lehessen kapcsolni, hogy egész építményrészeket össze lehessen feszíteni. Evégből a lehorgonyzó elemekre csavarmentet készítenek, amelyre kapcsolóhüvelyt csavarnak rá. A legegyszerűbb ilyen csatlakozás a vastag rúdon alkalmazott mángorolt csavarmentet.

A feszíthető lehorgonyzásokon kívül szilárd lehorgonyzásokat is alkalmaznak. Ezekben a huzalokat a végük közelében széjjelhúzzák és csavarvonal alakjában bebetonozzák. A sima huzalokat a szükséges tapadás biztosítása céljából hullámosítják. Egészen jelentéktelen, mindössze 2–3 mm amplitúdójú hullámosítás még 8 mm \varnothing -jú huzalok esetében is elegendőnek bizonyult. A huzalvégek hullámosítására hidraulikusan működtetett hullámosító gépek állanak rendelkezésre, amiket az építés helyén lehet felállítani. A BBRV eljárás szerint a huzalvégek széthúzását majdnem egy síkban végzik, úgyhogy a lehorgonyzó fejcsékek keskeny laposacéllal foghatók össze.

A *Dywidag*-rendszerű 26 mm \varnothing -jú acélrudak esetében a rúdvégre felcsavarnak egy meglehetősen kicsiny lehorgonyzó testet és a lehorgonyzás közelében a betont ellátják spirális vasalással. Ma tudjuk, hogy az ilyen spirálisan vasalt betont a lehorgonyzás közelében a prizma-szilárdság 8–10-szeresére lehet helyileg igénybe venni, anélkül hogy a beton széjjelmorzsolódnék.

A feszítő acélbetétek nagyságrendi osztályozása

A feszítőerő nagyságrendje szerint a feszítőacélbetétek több csoportját lehet megkülönböztetni. Így vannak egyetlen 10 vagy 12 mm \varnothing -jú huzalból álló 6–9 tonna *feszítőerejű* feszítőacélbetétek, amelyek vékonyfalú épületelemek, mint pl. héjak vagy pedig nagytámaszközű gerendák vékony gerinceinek megfeszítésére alkalmazhatók. Az egyetlen 26, illetve 32 mm \varnothing -jú acélrúdból álló acélbetét *feszítőereje* 30, illetve 44 tonna.

A legtöbb feszítőacélbetét azonban több párhuzamos huzalszálból áll. A 30–35 tonna feszítőerőhöz 8 szál 8mm \varnothing -jú huzal, vagy 12 darab ovális drót szükséges. Az ilyen feszítőacélbetéteket födémek, fedélszéktartók, hídpályatartók stb. céljaira lehet alkalmazni.

A feszítőacélbetéteknek 60–70 tonna feszítőerőnek megfelelő következő csoportja 16 db 8 mm, illetve 10 db 10 mm \varnothing -jú huzalból áll. Végül említésre méltó, hogy az utolsó 2 évben 120–160 tonna feszítőerőt biztosító feszítőacélbetéteket is készítettek, amiket főképpen hidépítések céljaira alkalmaztak. A nagyobb feszítőacélbetéteknek kétségtelenül megvan az előnyük, hogy kevesebb a munkaigényük és emellett szerkezeti szempontból is egyszerűbbek. Előadó egész nagy kábeleket, ún. összpontosított feszítőacélbetéteket fejlesztett ki, amelyek 1000–2000 tonna feszítő erőnek felelnek meg. Ezeket a későbbiekben példákon is bemutatja.

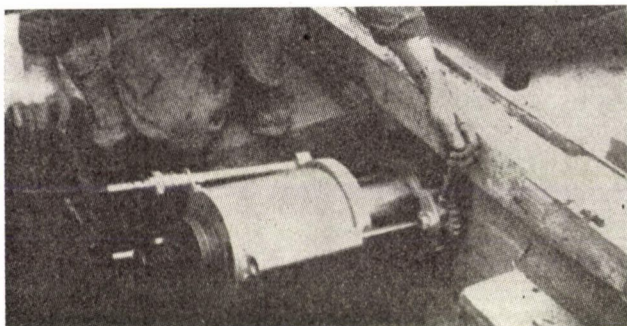
Burkoló csövek (kábelcsatornafalak)

A feszítő acélbetéteket vagy feszítőhuzal kötegeket (pásmákat) bádogeső burkolattal veszik körül abból a célból, hogy azok a megkeményedett betonban hosszirányban elmozdíthatók és ezáltal megfeszíthetők legyenek (4. ábra).

E burkolócsövek is bizonyos mértékű fejlődésen mentek keresztül. Míg kezdetben meglehetősen vékonyfalú sima bádogcsöveket alkalmaztak, manapság kizárólag hullámosított, erőteljesen kialakított bádogcsatornákat használnak, amelyek szerelés közben akár járni is lehet, anélkül hogy behorpadnának. A régebbi burkolócsövek ugyanis a feszítőacélbetét viszonylagos nagy súrlódását okozták a feszítéskor, ezenkívül könnyen sérültek, úgyhogy néhol a cementlé behatolt a csatornába és a feszítést megakadályozta. Mindezeket a hibaforrásokat ma már kiküszöbölték.

Feszítőeszközök

Magához a feszítéshez különböző jól kezelhető hidraulikus prések állanak rendelkezésre. Előadó utal itt arra a hidraulikus présre, amelyet munkatársa *Baur* 1950-ben tervezett és amely 11 kg súlya mellett 30 tonna feszítőerőt biztosít 9 cm-ig terjedő feszítőút mellett (6. ábra). A ma használatos elektromos



6. ábra. Feszítő- és présberendezés a LEOBA S 66 és K 66-hoz

meghajtású, nagynyomású szivattyúkkal az egész feszítési műveletet egyetlen ember végezheti, úgyhogy maga a feszítés művelete kevésbé munkaigényessé vált.

E könnyen kezelhető gyűrűs sajtók mellett különböző ikersajtós berendezések alakultak ki, amelyekben a feszítőacélbetét két hidraulikus sajtó között foglal helyet. A 120–160 tonna feszítőerőt biztosító feszítőacélbetétekhez a sajtókat kis kocsi-ra téve viszik a feszítés helyére.

A BBRV feszítőberendezés 170 tonna feszítőerőhöz készült elektromos meghajtású nagynyomású szivattyúval, amelyhez a hidraulikus sajtó elé dinamométert iktatnak a feszítőerő pontos mérésére. A feszítőerőt és egyben a feszítőutat is állandóan mérik, úgyhogy a súrlódást illetően az ellenőrzés biztosított.

A bepréselt habarcs

A feszítés után a kábelcsatorna üregeibe cementhabarcsot préselnek. Ezáltal a feszítőacélbetéteket tartósan megvédik a korrózió ellen és jó kötésbe hozzák a környező betonnal. A bepréselt habarcsra Németországban különleges figyelmet fordítottak, mivel korán felismerték, hogy itt jó minőségre és kifogástalan munkára van szükség. Ezért eszközöket és eljárásokat fejlesztettek ki,

hogy a folyékonyságot, az ülepedést, a térfogatváltozást stb. meg lehessen állapítani. Törekedni kell lehetőleg kevés vízzel jó folyósság elérésére, mivel a felesleges víz felfelé kiválik és különösen fagyos időben károkat okoz, tekintettel arra, hogy a víz a tömör bádogesatornafalon nem bír elpárologni. Sok kutatómunkát áldoztak erre a kicsiny területre. Jelenleg különlegesen válogatott durva, illetve középszem nagyságú portland cementeket használnak erre a célra Németországban. A habarcsot 35—40 súlysúlyszázalék vízzel, homokos kavics adalékanyag nélkül, de olyan hozzátétanyag alkalmazásával készítik, amely a cement vízigényességét csökkenti, a kötést késlelteti és egy ideig a keverés után duzzasztó hatása van. Így ellensúlyozzák a habarcs zsugorodást és a térfogat állandó nagyságú marad. Ezt a habarcsot különleges keverőkkel igen erőteljesen kell keverni és a bepréselés időpontjáig állandóan mozgásban kell tartani, mert különben elkerülhetetlen az ülepedés.

A bepréselésre vonatkozó irányelvek megkívánják ezenkívül, hogy minden olyan feszítőacélbetéthez, amely mellett a habarcskeresztmetszet több, mint 5 cm² az első bepréselés után $\frac{1}{2}$ —1 óra múlva második bepréselést kell alkalmazni. A második préselési menetben ugyanis az ülepedés útján keletkezett felső iszapréteget az új jóminőségű bepréselt habarcs kiszorítja. Számos ellenőrző vizsgálat azt mutatta ki, hogy ezzel a bepréselési technikával kifogástalan eredmények érhetők el. Ezen a területen szerzett legutolsó tapasztalatokat ez év januárjában Trondheimban, (Norvégia) RYLEM vitauülés keretében tárgyalták.

Megengedett feszültségek

Németországban a feszített betonépítményeket a DIN 4227 előírásai szerint tervezik, amely *Rüsch* professzor irányításával készült. E szerint az előírás szerint korlátozták a kezdeti megengedhető feszítési feszültséget a feszítőacél szakítószilárdságának 55%-ára, illetve folyási határának 75 %-ára. Más országokban, így különösen Franciaországban, sokkal magasabb kezdeti feszítési feszültséget engednek meg, pl. a szakítószilárdság 70 %-át. *Leonhardt* professzor meggyőződése, hogy az alacsony németországi érték helyesebb és nyugodt lelkiismerettel csak néhány százalékkal volna emelhető. A feszített beton esetében ugyanis éppen úgy be kell tartani az építményekre egyenként alkalmazott biztonsági tényezőket és azt is meg kell gondolni, hogy túl magas feszültségek nemcsak túl alacsony biztonságot adnak, hanem idők folyamán le is csökkennek az acélkúszás okozta feszültségvesztés, a relaxáció következtében. A betonra megengedett feszültségeket is úgy állapították meg Németországban, hogy azok a töréssel szemben 2,5-szeres biztonságot nyújtanak.

Előírásaink kétféle feszítési fokozatot irányoznak elő, és pedig az ún. „teljes feszítés”-t, amely mellett semmiféle húzófeszültséget sem engednek meg a betonban és az ún. korlátozott vagy részleges feszítést, amely mellett a teljes mértékadó hasznos terheléskor 20—30 kg/cm² nagyságrendű húzófeszültség is keletkezhetik. A „részleges feszítés”-t illetően sok vita volt és közismert dolog, hogy a Freyssinet iskola még ma is a teljes feszítést kívánja meg.

Kezdetben, nyilván gazdaságossági szempontok vezettek a korlátozott feszítés gondolatához. Ma már az a meggyőződés alakult ki, hogy a teljes feszítés sem mindig a legjobb műszaki megoldás, azért, mert ekkor az állandó terhelés tartósan igen magas betonfeszültséget okoz, aminek következtében a betonkúszás hatására nagy alakváltozások állanak elő.

Minden olyan építményben, amelyen a hasznos terhelés csak ritkán lép fel legnagyobb értékeivel és rendes esetben annak csupán 20, 30 vagy 60 %-a hat, kétségtelenül helyesebb az állandóan ható nyomófeszültségeket lecsökkenteni a ritkán előforduló teljes hasznos terhelésnek megfelelő beton-húzófeszültségek terhére, vagyis korlátozott feszítést végezni.

A kísérletek is egyértelműen igazolják, hogy a feszített beton teherviselő szerkezet átmeneti túligénybevétele nem ártalmas, úgyhogy a korlátozott feszítéskor a betonban keletkező kicsiny húzófeszültségeknek nincsenek káros következményei. Végeredményben az az álláspont alakult ki, hogy Németországban a korlátozott feszítést közúti hidak esetében helyeslik, vasúti hidakon ugyanakkor a teljes feszítést tartják jobbnak.

Alkalmazások a magasépítésben

A magasépítés területén Németországban gyakran találunk gyári úton feszítőpadon előállított olyan 8–30 m támaszközű gerendákat és szelemeneket, amelyek mindenkor meglepnek karcsú méretükkel. Számos más esetben, így sokemeletes épületekben, helyszínen betonozott nagytámaszközű, utófeszített betonszerkezetű födémeket alkalmaznak.

Toronyházak földszintjén sokszor kell nagy termeket létesíteni közbenső alátámasztás nélkül, úgyhogy a terem fölött levő épületet ki kell váltani. Erre a feszített betontartó alkalmazása adja a helyes megoldást.

Szerző Kölnben 25×34 m alaprajz-méretű televíziós felvevő teremhez olyan födém szerkesztett, amely fölé rendes 5–7 m-es közökkel alátámasztott oszlopos ötemeletes hivatali épületet kellett emelni. A feladatot *Leonhardt* professzor 1,3 m vastag üreges feszített betonlemezzel oldotta meg, amelyet a föléje emelt épület építése közben a terhelés növekedésének megfelelően több lépcsőben fokozatosan feszítettek meg.

50–60 m hosszú épületekkel kapcsolatban gyakran felmerül az a kívánság, hogy a hődilatációs fugákat mellőzzék. Itt is a feszített betont lehet segítségül venni. Így pl. a stuttgarti műszaki főiskola kollégiumi 12 emeletes toronyház épületében a födémeket és a mellvédeket 60 m hosszúságban összefeszítették olyan sikeresen, hogy azóta egyetlen hőmérsékletváltozás okozta repedés sem keletkezett. Lényeges körülmény emellett, hogy már az alapokat is összefeszítették, hogy a zsugorodásból és hőmérsékletváltozásból keletkező rövidülések ott se okozzanak repedéseket.

A Bayer festékművek Leverkusenben épült 32 emeletes toronyházához nemrégiben előadó irányítása mellett 60 m hosszú falszerű alapokat feszítettek azért, hogy terjedési fugák nélkül biztosítsák repedésmentességüket.

Ezt a feladatot is sikerült megoldani, bár megelégedtek azzal, hogy a nehéz, három emelet magasságú faltartóalapok hosszirányú elmozdulását mindössze egy homokréteg tegye lehetővé.

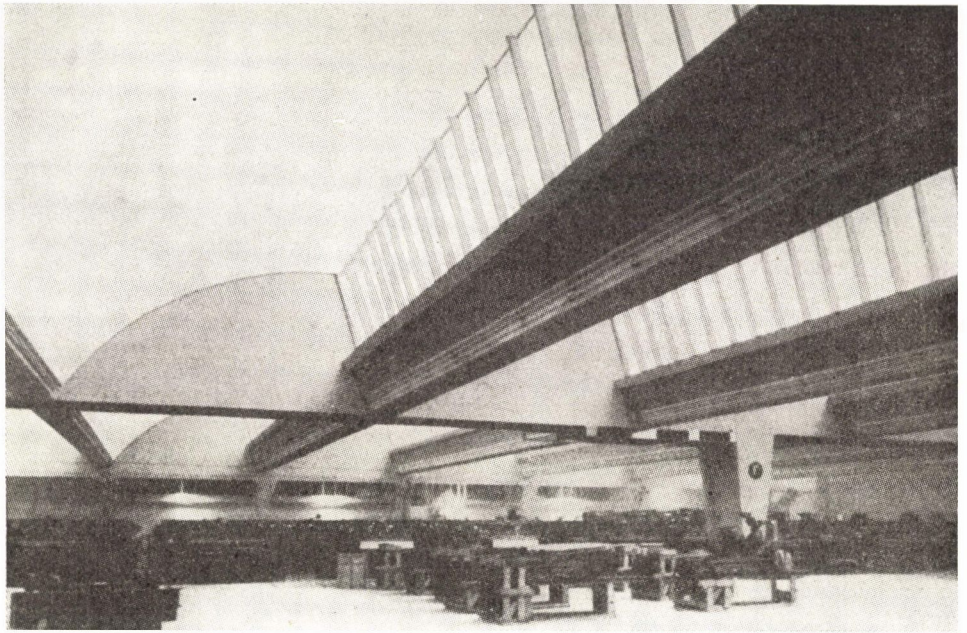
Alkalmazások az ipari építésben

Itt is az alapokkal kezdve, első helyen kell megemlíteni egy acélmű hengersorának építését süllyedéses bányaterületen. Az alapozási munkákat a *Hochtief A. G.* vállalat végezte. A talajsüllyedésnek a nehéz hengersorra gyakorolt kedvezőtlen hatását úgy lehetett kiküszöbölni, hogy a 25 m széles és 34 m

hosszú alaptestet 3 ponton, tehát statikailag határozott módon támasztották alá. A gépek súlya aljzatokkal együtt 9400 tonna, az alaptest súlya 4600 tonna. Ilyenfajta feladat megoldására csak a feszített beton alkalmas. (Beton- u. Stahl-betonbau 1955. 5. o.)

Számos más gépalapot oldottak meg feszített betonnal, közöttük sok turbina alapot.

Gyárakkal kapcsolatban a feszítést elsősorban a nagy támaszközű csarnoktartók és szelemenek, valamint darupályatartók kialakítására használják



7. ábra. Shed-födélszerkezet feszített betomból

Németországban. A Hochtief A. G. vállalat igazán szép megoldást dolgozott ki több mezőn folytatólagosan átmenő tető szelemenekre vonatkozóan. A szelemenek szereléséhez és elhelyezéséhez gyenge, feszítetlen vasalást készítettek és ebbe a feszítőacélbetét burkolócsövét illesztették be. A szelemeneket ún. segédnyereg segítségével emelték a tetőgerendák közé, majd a feszítőkábeleket behúzták a szelemenek burkolócsöveibe. A szelemenek és a tartók 2 cm széles fugáit ezután földnedves betonnal vibrálták tele. Következő napon a feszítőacélbetéteket megfeszítették. A szelemeneket a feszítőacélbetétek szorítónyomásának kihasználásával rögzítették a kötőgerendákhoz. Ez az eljárás ipari csarnoképítésben különösen gazdaságosnak bizonyult.

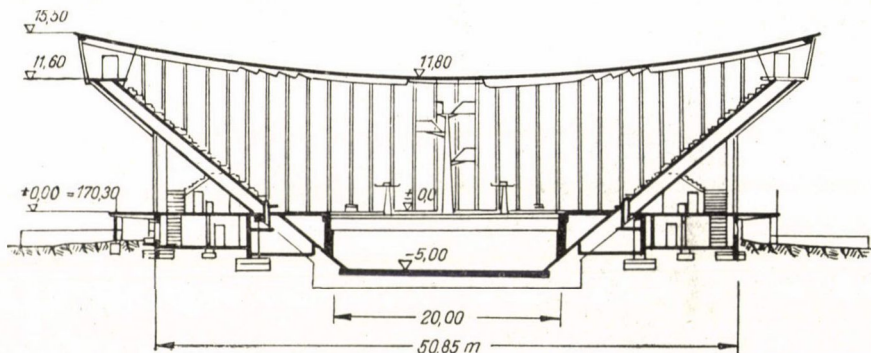
Nagy menységben állítanak elő feszített Shed-héjakat (7. ábra) egészen 26 m támaszközig. A feszítőacélbetéteket itt a héjban és az ún. eresztartóban osztják el. E dongahéjához olyan zsalutáblákat alakítottak ki, amelyeket az első mező megépülése után nagy darabokban a következő mezőbe vihetnek át, úgyhogy a helyszíni munka itt is gazdaságosabb lett. Nagy csarnokok esetében a héjakat előregyártott elemekből is készítik, amelyeket befűzött

feszítőbetétekkel összefeszítenek. Ezt az eljárást a Szovjetunióban és Magyarországon is néhány szerkezeten már alkalmazták.

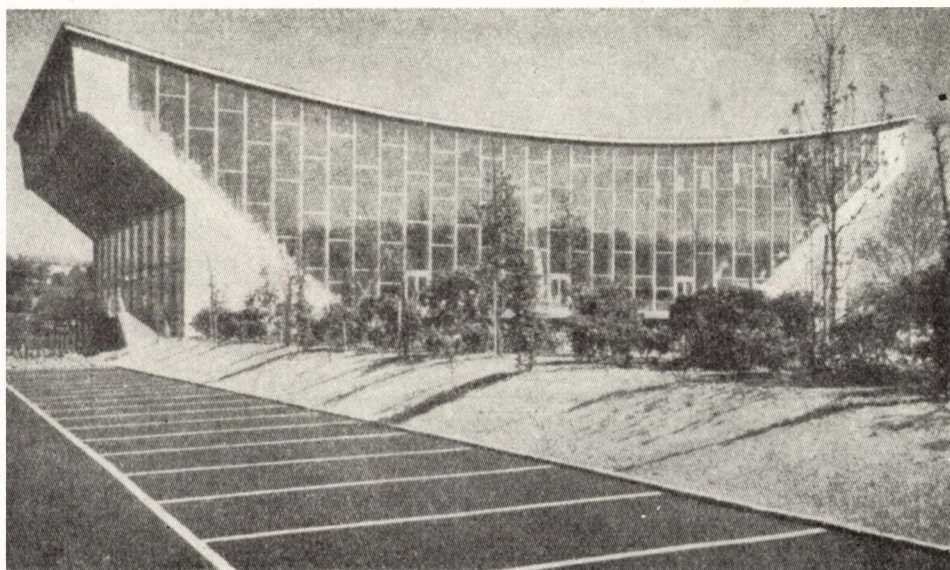
Az utóbbi években számos csarnokot építettek feszítőpadon gyártott hiperboloid héjakkal, amelyeket konzolos tetőelemekként külön szigetelés vagy tetőburkolat nélkül készítettek.

Feszített beton csarnokok

A csarnoképítés területén külön ki kell emelni a feszített betonnal előállított függőtetőket. Közülük például *Leonhardt* professzor a wuppertali uszodát mutatja be (8—9 ábrák), amit népnyelven „Uzoda Operá”-nak hívnak. Ezt a kereken 60 m támaszközű 5—6 cm vastag függőtetőt feszített szegélytartók



8. ábra. Wuppertali uszoda függőtető szerkezetének keresztmetszete

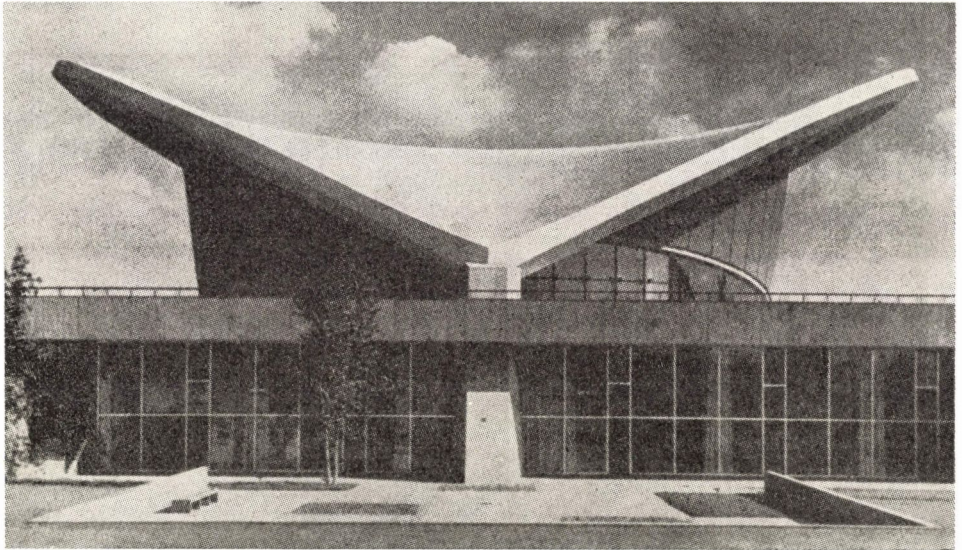


9. ábra. Wuppertali uszoda déli oldalról nézve

között a felfüggesztés irányában feszítették. A próbaterhelések azt igazolták, hogy erős héjhatás érvényesül a szerkezetben, úgyhogy még egyoldalú hőterhelés esetében is az alakváltozások aránylag kicsinyek. A műugró torony ugyan csak feszített beton kivitelben készült.

Uszodamedencék is nagy számban épültek feszített betonszerkezettel.

A dortmundi 80 m támaszközű függőtető egy 110 m hosszú sportcsarnok fölött igen figyelemreméltó eljárással készült. Itt először a szegélytárcsákat építették meg háromlábú bakokra és azután mozgatható állványon előregyártott, mindössze 12 cm vastag bordákat helyeztek el rövid darabokban egymás mögé. A bordákba betonozott bádogcsövön keresztülhúzták a kábelt, majd



10. ábra. Berlini kongresszusi csarnok

könnyűbeton tetőlemezeket helyeztek a bordákra és a közöket habarccsal kitöltötték. Ezt követően a feszítőacélbetéteket megfeszítették, mire a tető az állványról felemelkedett, úgyhogy az állványt a következő mezőbe át lehetett vinni.

Egy uszodafürdő részére, amit *Leonhardt* professzor függőtető szerkezettel épített, a teherhordó rudakat feszített betonkeret belsejében PVC-vel burkolt bádogcsövekkel függesztették fel. A rudakra mindössze 3 cm vastag 5–6 m hosszú feszítőpadon előregyártott betonpallókat helyeztek és a fugákat habarccsal kitöltötték. Ezt követően a teherhordó rudakat annyira feszítették, hogy a tetőhéj a hőterhelést kibírja. Az üregeket ezután a csövek között cementhabarccsal nyomás alatt kitöltötték. A függőtető építésének ez a módja különösen gazdaságosnak bizonyult.

Az előadó a továbbiakban egy kis benzintöltő-állomás, mindössze 4 cm vastagságú könnyűbetonból előállított függőtetőjét ismertette.

A következőkben a berlini kongresszusi csarnok tárgyalására tért át, amelynek építészeti alapmotívuma feszítette kettős görbületű függőtető, két, ívalakú szegélyborda között. Ez a csarnok a maga nemében az utóbbi évek egyik

legfigyelemreméltóbb alkotása. A feszített függőhéjat állványon és zsaluzással építették aránylag költséges eljárással. Ilyen építkezéshez azonban úgy sem a legolcsóbb megoldást keresik, hanem szerkezeti szempontból helyes és építészeti szempontból nézve hatásos elrendezést (10. ábra). A csarnok kétségtelenül bevált, mert közkedvelt kongresszusi előadó terem, ahol már több ízben ülészetek mérnökök, így pl. 1958-ban a FIP (Fédération Internationale de la Précontrainte) is.

Az utóbbi évek egyik legérdekesebb feszített beton-csarnoka a Frankfurt (Main)-i légikikötő új repülőgépcsarnoka, amelynél kettős görbületű héjakat, egy középső bakból kiindulva, mint nagy tetőelemeket függesztettek fel. A támaszköz összesen 56 m. Itt a feszített betonnak mindenkor az a feladata, hogy az erősen kiálló tető alakváltozásait korlátozza, ezért a kapukon nem is volt szükség nagy elmozdulási fugákra.

Tartályok és hűtőtornyok

Víz-tartályokat nagy mennyiségben állítottak elő feszített betonból. Körhenger alakban ilyen szerkezetek 80 m átmérőig épültek. A körhenger palást alakú oldalfalak feszítéséhez csévélogépeket használnak, vagy pedig a feszítő-acélbetéteket burkolócsövekben bebetonozzák és a lizénákban egymást keresztezve kívülről előfeszítik.

A tojás alakú derítő tartályok építéséhez a Dyckerhof és Widmann cég különleges építési eljárást dolgozott ki. A tartályt eszerint szektorokban állítják elő. A zsaluzóállvány a középtengely körül forgatható. A gyűrűirányú feszítőacélbetétek egy részét megfeszítik az első szektorszakaszban. Ezután a következő szakasz feszítő-acélbetéteit hozzákapsolják az előző szakasz megfeszített betéteihez, úgyhogy ezt az utóbbit a további feszítéskor a már álló tartályrészhez szorítják hozzá. A fugákat természetesen gondosan kell kezelni.

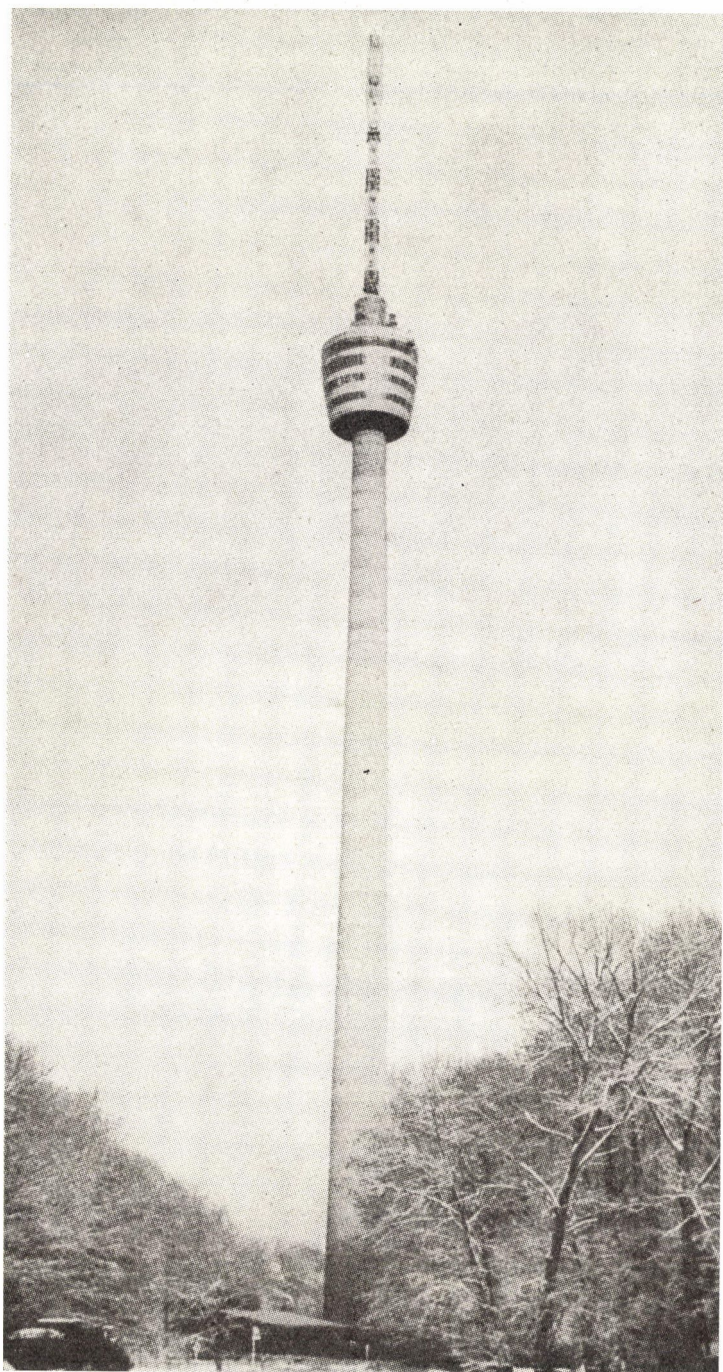
Bár nem teljesen a kitűzött tárgykörhöz tartozik, mint figyelemre méltót Leonhardt professzor bemutatja a franciák és a svédek különösen szép kehelyalakú feszített beton magastartályait, amelyek az utóbbi években készültek.

Tornyok

A feszítést egyes nagy tornyok építéséhez is alkalmazták Németországban, és pedig mindenekelőtt gyűrűs alapok készítéséhez. Ez történt pl. a 161 m magas stuttgarti televíziós torony építésekor (11. ábra), ahol a feszítő-acélbetéteket sugárirányban helyezték el. A hannoveri távjelzőtoronynak is gyűrűs alapja van.

Alkalmazások a hídépítés területén

A feszített beton legnagyobb alkalmazási területe a hídépítés, ahol a körülbelül 100 m támaszközökig az acélszerkezeteket majdnem teljesen kiszorította. A feszített betonhidak ugyanis lényegesen olcsóbbak és hozzá tartósabban is építhetők. Az utóbbi években Németországban épített feszített betonhidak száma lehetőséget rug. Ismertetésre itt csak néhány jellegzetes példa bemutatására van lehetőség, mint pl. a nagyvárosok keresztezésmentes forgalmi létesít-



11. ábra. Stuttgarti televíziós torony

ményeire, az ún. magasvezetésű közúti felüljáró hidakra. Ilyen hidakat sok nyílás felett folytatólagos szerkezettel építenek Németországban, mivel a pályamegszakítások mindig gyenge pontok, amik rongálódásokat és ezáltal fenntartási munkákat okoznak. A keresztmetszetet illetően előszeretettel alkalmazzák a magas üreges szelvényt a pályalemez erős konzolos túlnyújtásával. Karcosú támaszokra állítják e hidakat azért, hogy a híd alatt park-területet nyerjenek, vagy pedig az alsó szinten közlekedési utat vezessenek. Előadó először bemutatja néhány ilyen híd képét és azután fejti ki, hogy milyen módon feszítik ezeket mostanában.



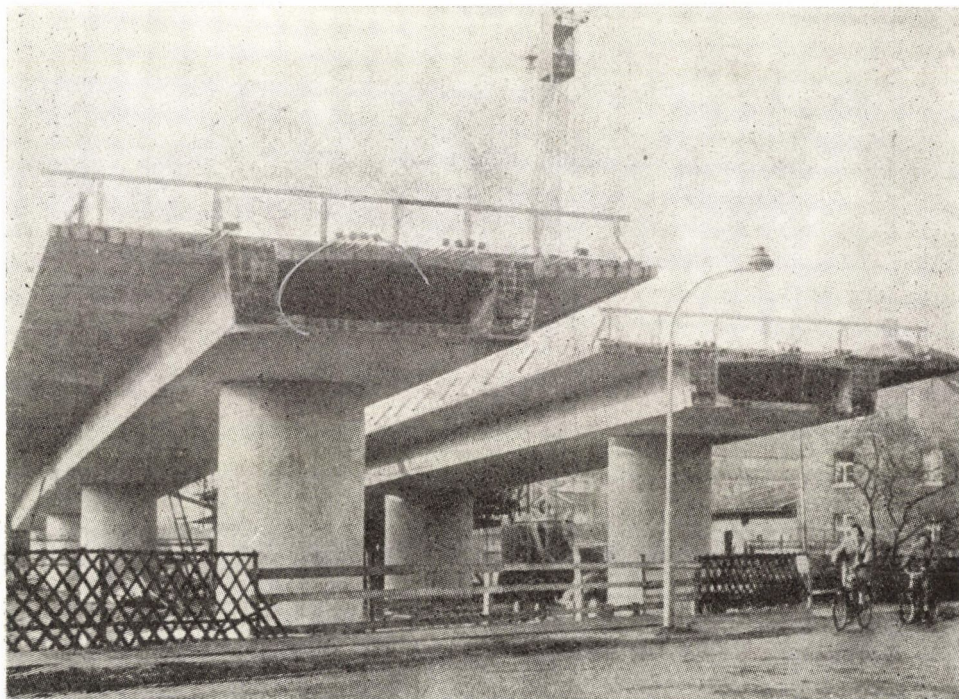
12. ábra. Mannheim—ludwigshafeni Rajna-híd lejáró rámpája

A mannheim—ludwigshafeni Rajna-hídfeljáró létesítményének távlati képe látható a 12. ábrán. Az 525 m hosszú és 19 nyílású építmény alaprajzi elrendezésben a végén erősen görbült. A hídnak csak egy dilatációs hézaga van az egyik pillér mellett. A fix saruk a hídfőkön vannak, valamennyi támasz-ingás elrendezésű. Az ingaoszlopok saruit különlegesen kellett kialakítani, egyrészt hogy a szerkezet hosszirányú elmozdulását lehetővé tegyék, másrészt a csavarónyomatékkal ható terhelést fel tudják venni. Az íves szakaszon az oszlopokat is egyszerűen sugárirányban helyezték el. Azt a kényszerhatást, amit ezáltal az elmozdulások akadályozása jelent, és ami a vízszintes síkban keletkező nyomatékokban nyilvánul meg, a híd-pályatábla minden további nélkül fel tudja venni.

Hasonló rendszer épült a düsseldorfi Rajna-híd csatlakozásaképpen (13., 14. ábrák). Itt összesen 26 nyílás felett folytatólagos az áthidalószerkezet. A rögzített támaszpontot az alaprajzban felismerhető elágazásnál helyezték el. A kes-

keny felmenő falak előnye, hogy igen hegyes keresztezési szög alatt lehet más közlekedési utakat e hidak alatt átvezetni és emellett a híd derékszögű szerkezetű marad.

Hogyan érték el ennyi nyílás felett a folytatólagosságot? Erre azt az egyszerű megoldást találták, hogy az egyik mezőt a másik után állványon készítették el kicsiny konzollal, amely a következő nyílás ötödéig nyúlt ki (13. ábra). Az elkészített szakaszt megfeszítették és a feszítő-acélbetéteket úgy horgonyozták le, hogy a következő mező feszítőbetéteit hozzájuk kapcsolhassák. Itt tehát az ún. kapcsolható lehorgonyzásokat alkalmazták. Ezután bebetonozták a

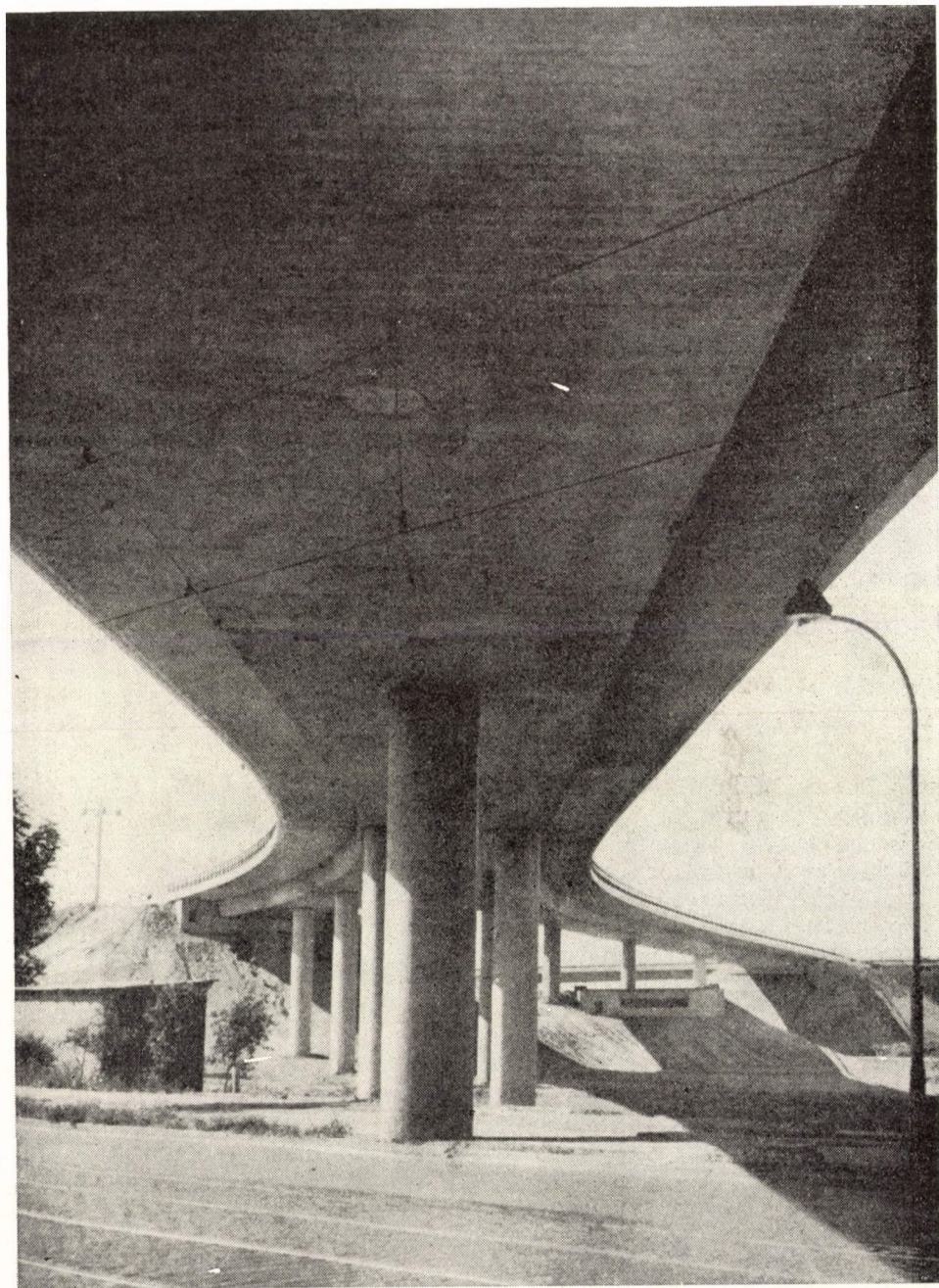


13. ábra. Düsseldorf-i Benedictus úti híd építés közben

második mezőt és a kapcsolt feszítőbetétekkel az előző mezőhöz hozzáfeszítették. Az ötödpoint rendkívül alkalmas a kapcsoláshoz, mivel a nyomatéki zéruspont közelében a feszítőacélbetéteket a teljes gerincmagasság mentén el lehet osztani. Néhány átmenő folytatólagos feszítőacélbetétet a pályalemezben helyeztek el. A képen világosan láthatók a feszítő acélbetétek kapcsoláshoz előkészített lehorgonyzó helyei.

A magasvezetésű közúti felüljáróhidak kereken 20–40 m támaszközűek, a helyi szükségletnek megfelelően.

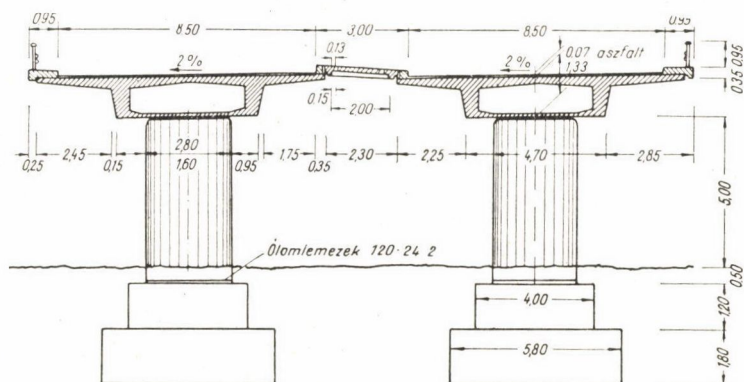
A mannheimi létesítményben egy 8 nyílású alaprajz szerint erősen íves közúti villamosvasúti híd is van. A hidat rendkívül rövid idő alatt kellett megépíteni, ezért az egészet egyszerre állványozták. Itt az összpontosított feszítőacélbetéteket végeiken bebetonozott hurkokkal horgonyozták le. Ezeket az összpontosított feszítőacélbetéteket súrlódást csökkentő csúcslemezekkel lehet



14. ábra. Düsseldorf-i Párizsi úti híd

kialakítani, úgyhogy a feszítéskor igen kicsiny a feszültségvesztés. Segítségükkel sikerült az egész építményt egy menetben megfeszíteni, úgyhogy a szélső mezőket az állványon hidraulikus sajtókkal tölték el. Ez volt az első eset, hogy nyolc mezőt egy munkamenetben egyszerre feszítettek meg olyan feszítő-acélbetétekkel, amelyek alaprajzban 130° -os ívben feküdtek.

Hosszú hidak előállítására a zsaluzatot rácsostartókra is szokták helyezni, amiket a betonozás, illetve a beton megkötése után lesüllyesztenek és a következő mezőbe visznek. Ez a „Strabag Bau A. G. eljárás” egy 30–40 m támaszközü mező elkészítését egy hét alatt tette lehetővé. A zsaluzat leeresztése és a következő mezőbe állítása egy nap alatt lehetséges. A feszítő-acélbetéteket itt is az ötödponthoz kapcsolják, úgyhogy végállapotban folytatólagos teher-



15. ábra. Düsseldorf-i Benedictus úti híd keresztmetszete

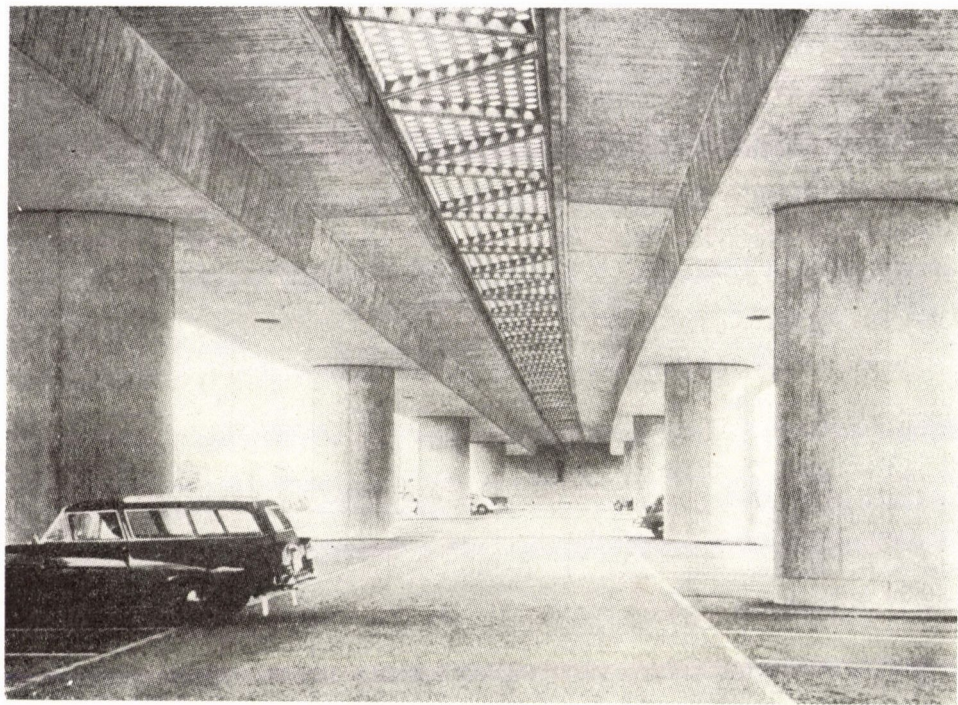
viselő szerkezet áll elő. Ilyen gépi berendezés csak akkor fizetődik ki, ha több híd épül egymás után; a gyorsan fejlődő új közlekedési létesítmények erre jó alkalmat adnak. Az ilyen folytatólagos felszerkezet keresztmetszeti elrendezése: két üreges szekrény bizonyos távolságban egymástól két-két alátámasztással.

Düsseldorfban *Leonhardt* professzor egy összesen 6 járatú közúti felüljáróhidat épített két szekrényes rendszerrel (15, 16. ábrák). Ez is mezőről mezőre kapcsolt feszítő-acélbetétekkel épült. Az üreges tartók között sűrűn elhelyezett feszített beton keresztartók támasztják alá a pályát. Ez a példa világosan mutatja, hogy a híd alatt a térséget miképpen lehet park-célokra jól felhasználni.

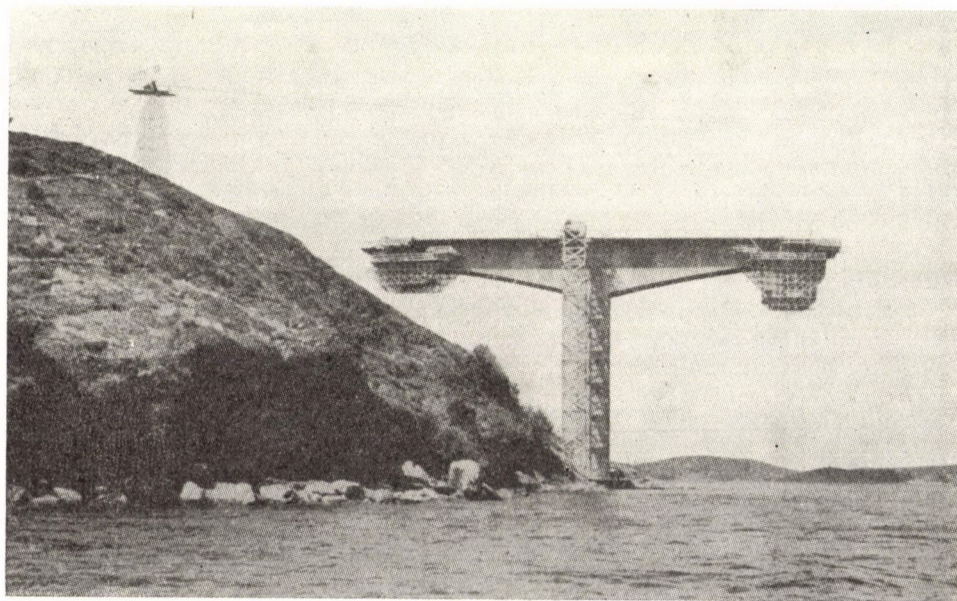
Nyilván mindenki hallott a Dyckerhof és Widmann cégnek nagy hidak szabad szerelésére kifejlesztett eljárásáról (17. ábra). Berlinben ezzel a módszerrel épült meg egy magasvezetésű útpálya teherviselő szerkezete, amely csatornát keresztesz 85 m támaszközü áthidalással. Itt a párhuzamos övű gerenda-hídat sodrony-kötelekkel feszítették meg. A három napos ütem elve szerint 3,6 m hosszú hídrészek épültek, amely mellett a feszítő-acélbetéteket 7,2 m távolságban kapcsolták.

A négyjáratú hídhoz itt is két — üreges-szekrény — szelvényre volt szükség, amihez H formájú kettőtámaszt építettek.

Egy nagy közlekedési létesítmény a München mellett levő Freimannban, amit távlati képen mutatnak be (18. és 19. ábrák), különböző hidak építésé-



16. ábra. Düsseldorf-i Benediktus úti híd készen



17. ábra. Dywidag-féle szabadszerelésű híd építése (közúti híd a Kallosund felett)

hez adott alkalmat, amiket elvileg hasonlóan két-három nyílásnak megfelelő rövid szakaszokban, állvány segítségével építettek meg és a feszítőacélbetétek kapcsolása útján hosszú összefüggő pályatáblákká alakítottak. Így az alapteretekbe befogták a támaszokat, amelyekre felül gördülősarukat helyeztek el.

Végül az előadó bemutatta az egyik hannoveri magasvezetésű közúti felüljárót, amelyhez támasztókereteket alkalmaztak. A betonfelületeket itt színezték, az alátámasztó oszlopokat sötétre, a felszerkezet alsó felületét világosra festették, ami lényegesen hozzájárul ennek a hídnak szép összehatásához.



18. ábra. A München melletti Freimannban épült közlekedési létesítmény távlati képe

A legtöbb ilyen fajta építményhez manapság 50–70 tonna erejű feszítőbetéteket alkalmaznak. Magának a feszítőeljárásnak a kiválasztása minden esetben a megbízást elnyerő építési vállalatától függ. A feszítőelemeket legtöbbször az építés helyén állítják össze, a zsaluzásra felhordják és az ott beszerelt rögzítőkengyelekre helyezik.

Ezután az előadó a nagy hidak építésének ismertetésére tért át. Dyckerhof és Widmann A. G. eljárásának nagyszerű alkalmazását mutatta be az egyik hídon, amely magasan a víz fölött épült Norvégiában. A korábban elért legnagyobb támaszköz, amit ilyen eljárással áthidaltak, a koblenzi Mosel-híd 123 m-es támaszköze volt.

Az elmúlt évben a Main Bettingen mellett a Polenszky és Zöllner cég épített olyan autópályahídat, amely ezt a támaszközt túlszárnyalta. A vállalat szabad szerelést tervezett, de tekintettel a szabadalmi védelempre, a szabad szerelést végző kocsit alsó állványon, közvetlenül a vízszint felett támasztotta alá. A középső nyílás 140 m. A hidat összekapcsolható 100 t-ás acélbetétekkel feszítették. Első menetben csupán a bádogcsatorna csöveket betonozták be. A drótkábelek utólagos behúzása után a lehorgonyzásokat mindig a kívánt helyre lehetett tenni.

Összpontosított feszítő kábeles szerkezetre az előadó példaképpen a Bruckmühl-hidat mutatja be, amelynek üreges szekrényeit öt nyílás felett folytatólagosan állították elő. A bádogszekrények a zsaluzaton minden nyílásban parabola alakúak. Ezekben a nagy kábelekben, amelyeket az előadó Baur munkatársával együtt fejlesztett ki, mint ismeretes, nagy számú huzalt és pászmát helyeznek el vízszintes rétegekben. Ilyen kábeleket kereken 2000 tonna feszítőerőre kiviteleztek. A kábeleket poligonális alakban vezetik. Az eltérítő-



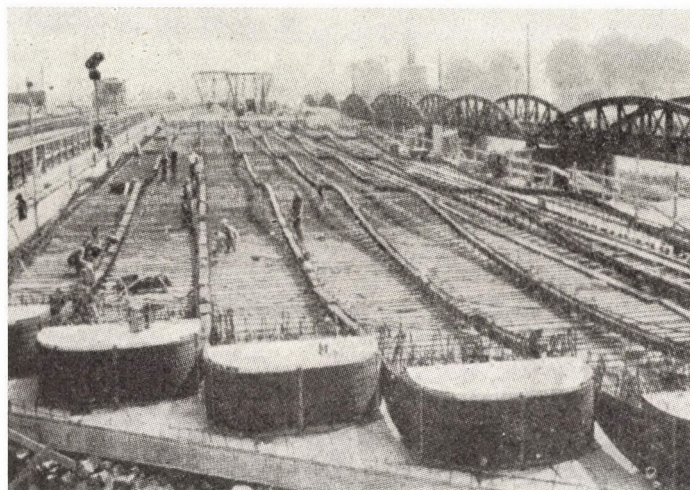
19. ábra. München melletti Freimannban épült híd részlete

helyeken a bádogszekrényeket megszüktik, és csúszólemezek beépítésével feszítéskor a súrlódást csökkentik.

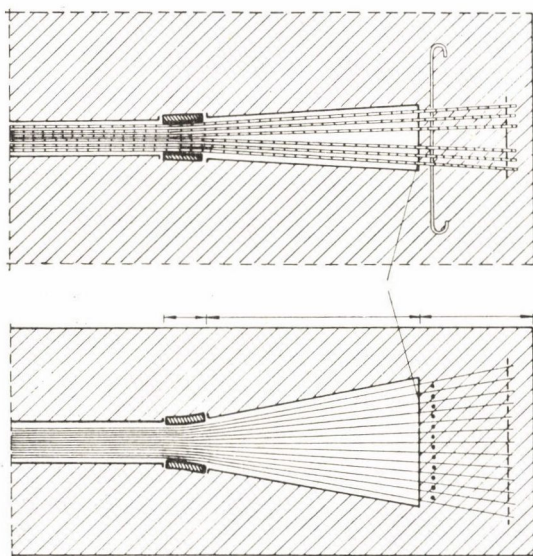
A következőkben *Leonhardt* professzor történeti szempontból nevezetes régi példát mutat be erre az építésmódra, mivel az az első ilyen német feszített betonhíd feszítőbetétjeit tünteti fel. A híd teherviselő szerkezete 100 m hosszú öt mező felett folytatólagosan átmenő ferde üreges lemez. A kábeleket hurokszerűen feszítőtömbök körül horgonyozták le (20. ábra). Ezek a hurok-lehorgonyzások szerkezetileg különösen egyszerűek és olcsók.

Időközben a nagy kábelek részére *Leonhardt* még az ún. legyező alakú lehorgonyzásokat is kifejlesztették (21. ábra), a 8 mm Ø-jű huzalokat végeiken hullámosították és közvetlenül bebetonozták. Alkalmas vasszereléssel a kábeleket egész 1600 t-ig egyetlen lehorgonyzással lehet kialakítani és ezt a lehorgonyzást feszítőtömbként lehet egyidejűleg felhasználni.

60 m felett a támaszközök kedvező áthidalására előnyös építési eljárás oly módon értek el, hogy a nagy kábeleket közvetlenül a főtartók gerince mellé helyezték, így vékony gerinc is elegendő, amit könnyű betonozni. Az első példa ilyen hídra az ötnyílású Traun-híd 94 m-es legnagyobb nyílással. Az összesen



20. ábra. Folytatólagos, többtámaszú feszített betongerendahíd központosított kábele



21. ábra. Legyező alakú lehorgonyzás

30 m széles híd keresztmetszete négy keskeny üreges szekrény, a főtartók gerincevastagsága mindössze 20 cm.

Egyik főtartót a másik után keskeny állványon szerelték és teljes 350 m hosszban keresztirányban a hídpilléreken eltolták. Ily módon lehetővé vált, hogy összesen négy alkalommal felhasználják a keskeny állványt ennek a széles hídnak az építéséhez.

A kábeleket megfeszítésük után bebetonozzák a gerincekbe előre beépített szerelőrudak segítségével, úgyhogy kifogástalan kapcsolat van a kábelek és a főtartógerincek között.

Ez idő szerint még egy további ilyen híd építését is megkezdték, az Atter-tótól északra levő Ager-hídet. Ott négy mezőt, közöttük két 85 m nyílásút, folytatólagos tartóként építettek. Ezúttal *Leonhardt* professzor két üreges szelvényt választott az egész keresztmetszetre, a főtartókat 10 m-es darabokban a töltésen előregyártották és csúszó pályán állvány segítségével végleges helyére eltolták. Amint valamennyi szekrényt egymás mögött elhelyezték, a kábeleket a gerincek mentén a szekrény-üregben gördülő kocsival beszerelték. Ezután a keresztirányú keretek fugáit kibetonozták, amelyek alul a kábel eltérítősaruit hordják és az egész építményt egy munkamenetben megfeszítették.

Ezzel a megoldással összekapcsolták:

1. az azonos elemek sorozatgyártásának — vagyis a 10 m-es üreges szekrénytartók — előnyeit,

2. a monolitikus építés előnyeivel és

3. a folytatólagos feszítés előnyeivel.

Megemlíti végül *Leonhardt* professzor, hogy hídpályázatokon ismételten szerepeltek 200 m támaszközű feszített betonhidak tervei. A közeljövőben ilyen hidak megépítésére is lehet számítani. Igen nagy támaszközök áthidalását az ún. ferde kábelek teszik lehetővé, amelyek a pilonra függesztik fel a tartószerkezetet. Ezekkel a ferde kábel hidakkal a legutóbb épített Rajna-hidaknál kedvező tapasztalatokra tettek szert, úgyhogy ezt a tartófajtát jól kipróbálnak lehet minősíteni.

Természetesen még sok érdekes dolgról lehetne a feszített beton hídepítés változatos területéről beszámolni, így említésre méltóak még a kisminta statikai eljárások, ferde, folytatólagos többtámaszú hidakra vonatkozóak. A vasút is kidolgozott megoldásokat feszített betonnal, amikkel hidakat egyetlen 4—5 órás vágányzár alatt lehet kicserélni és ismét forgalomba helyezni.

Némelyik németországi kis híd, pl. egyes gyalogjárdahidak is igen figyelemreméltóak mérnök-technikai szempontból.

A németországi hídepítés a tervezésben mutatkozó erős verseny következtében igazán mozgalmas és sokoldalú. A nagy vállalatok mérnökei és a szabad pályán működő mérnökök állandóan versenyeznek a legjobb elgondolásokkal. A versenytárgyalásokon különleges megoldások benyújtását is megengedik, sőt ilyeneket egyenesen elvárnak. Ily módon mindig újabb és újabb megoldások születnek. A hivatalos szervek szerencsére a helyzet magaslatán vannak, úgyhogy az előrehaladás meg is valósítható. Minden jó mérnöknek igaz örömet okoz, ha ilyen nemes versenyben részt vehet. *Leonhardt* professzor ezzel a gondolatokkal zárta a németországi feszített betonépítés fejlődéséről szóló előadását.