

## ELŐREGYÁRTOTT HULLÁMHÉJAK ÉS LEMEZHŰVEK FEJLŐDÉSE A NÉMET DEMOKRATIKUS KÖZTÁRSASÁG IPARI ÉPÍTÉSZETÉBEN

Minden újszerű épületszerkezet fejlődésével kapcsolatban az általános siker szempontjából döntő egyrészt:

1. az összefüggés a forma és az építkezés menete között, ami munkaszükségletben, a munkaeszközökben és az ebből eredő költségekben jelentkezik — másrészt:

2. az összefüggés a forma és a hordképesség között, ami az anyag ráfordítás és az anyagköltségek hatását befolyásolja döntően.

Ha a munkában és a költségekben az elérhető minimumra törekszünk, akkor az első összefüggés esetében a formára vonatkozó vagy a formából kiinduló feltételek a munkaeszköz gépesítésének fokával, azaz az előregyártással, a szereléssel stb. állnak szoros összefüggésben. Ehhez csatlakozik a gépesítéssel szorosan összetartozó és fejlődő munkaszervezés.

Az építőanyagokra vonatkozó ismereteink előrehaladásával, geológiai és műszaki téren, új üzemanyagok bevezetésével és mindenekelőtt ismereteink bővülésével, a statika és a számítási módok területén a forma és a hordképesség közötti összefüggés állandóan változik. Minden fejlődés sikere a két összefüggés közötti szoros kapcsolattól függ. Ennek a kapcsolatnak azonban nemcsak a megfontolások, hanem a megfontolásokat tevők között is fenn kell állniuk. Mindenkinél, aki az építészettel kapcsolatban van, s az építkezés tervezéséért vagy kivitelezéséért felelős, fennáll az a kényszerítő szükségesség, hogy tudásban és tapasztalatban specializálja magát. Ez az eddigénél sokkal nagyobb mértékű közösségi munkát követel.

Ennek alapja az, hogy mindenki hajlandó legyen egymást megismerni, megérteni és egymással együttműködni. Az építész és a többi mérnök közötti hatásköri vita, amely rendszerint már az egyetemi előadóteremben kezdődik, legyen a múlté mind az építőipar, mind pedig minden más területen. A múltban az építész legtöbbször abban a helyzetben volt — saját, gyakran természetes statikai érzékét követve —, hogy a mindennapi, sőt a különlegesebb építményeknél is az alkotói elgondolás mellett, dönteni tudott a statikai, szerkezeti és kivitelezési elvi kérdésekben. Ma ez már mindinkább lehetetlen. Ez a több évtizedig tartó állapot a statikus mérnököt sok esetben „számoló mesterré” degradálta (amint azt Nervi találóan mondta), aki az építész elgondolását eleve elfogadta, és azt csak számszerűen kellett egyenesbe hoznia, ami legtöbbször a statikai optimumtól eltérő kialakításban jelentkezett. Ez olyan tevékenység volt, amelynek nem volt sok köze a mérnöki munkához, és amit matematikai számításokat végző intézetre nyugodtan rá lehetett vona bízni. A kivitelezés teljesen a kereskedelmi vonalra csúszott át, és teljesen kötött célú vagy spekulációs építkezéshez vezetett.

A mérnöktől a munka teljessége azt követeli, hogy a kétségkívül szükséges számolómeisteri tevékenysége mellett, iskolázott statikai érzéktől ösztönözve, a kivitelezés gyakorlati részének ismeretében, az alkotás iránti szeretettől és tisztelettől vezérelve, szerkezeti elgondolásokat vessen fel, valósítson meg. Az iránymutató statikai, számítási vizsgálatok és tapasztalatok mellett a részletek ismerete is fontos. A fejlődésnél mindig megállapítható, hogy első sorban az ilyen tevékenység vezet új építésformákra; a statikai elvont problémák általános megoldása ritkábban hoz létre új formákat. Az alapelvek vizsgálatában természetesen ez utóbbinak is biztosítani kell a megillető helyet.

Különösen újabb héjszerkezetekkel való foglalkozás veti fel az előbb ismertetett elgondolásokat, mert ritkán van más építésmódnál olyan szoros összefüggés a forma és az építés, illetve a forma és a hordképesség között, mint éppen a héjszerkezeteknél és az ezekhez hasonló tartószerkezeteknél. Az építészetben az elmúlt tíz év alatt elért fejlődés a héjszerkezetek területén is éreztette hatását.

A statika modern, erősen a matematika felé orientálódó fejlődése komplikált héjszerkezetek számítási megoldásait eredményezte. Hogy emellett az anyagnak és az építmény kivitelezésének egyes kérdéseit el kellett hanyagolni, a téma jellegénél fogva, azt nem is lehet rossz néven venni. Ilyen elvont munka szükséges volt a múltban és szükséges a jelenben, azonban azt összhangba kell hozni az anyag tulajdonságaival. A számításoknál kényszerűen szükséges matematikai apparátus sajnos nem elég a gyakorlati, tervezői tevékenységre rendelkezésre álló rövid idő miatt. Megközelítő módszerek és a rövidesen ennél még sokkal hatásosabb elektronikus agyak le fogják venni ennek a fáradságos, nehéz munkának terhét a mérnökök vállairól, és időt fognak engedni számukra a tulajdonképpeni alkotó munkához. A rendelkezésre álló analitikus módszereket kiegészíti, sőt ki fogja szorítani a különböző léptékű modelleken végzett kutatás és vizsgálat. Az erők és alakváltozások — előre meghatározott mérnöki megfigyeléseken és méréseken alapuló — számításának jelentőségét nem szabad lebecsülni, de túlbecsülni sem.

Mindenesetre éppen a héjszerkezeteknél az elmélet szép fejlődést mutat az utóbbi években, ami lényegesen segített a forma és hordképesség közötti viszony kérdésének tisztázásában, kiszélesítésében és számszerű kifejezésében. A nem homogén és repedésre hajlamos vasbeton méretezése és feszültségmegoszlása tekintetében még sok kérdés megoldatlan, ami igen sajnálatos a statikus mérnök (konstruktor) szempontjából. Ezen a területen az anyaghoz kötött kutatás a tisztán elméleti kutatással nem tudott lépést tartani.

Más építésmódokhoz viszonyítva, a legtöbb héjszerkezeti formánál elmondhatjuk, hogy az anyagráfordítás a minimális. A munkaeszköz és a munkaráfordítás is a héjszerkezetekkel való építésmód javára alakult. Egy évtizeddel ezelőtt a legtöbbször bonyolult geometriai formák zsaluzásához felhasznált tradicionális faszaluzás rendkívül nagy költséget jelentett. Ma már fémcsőből készült állványzatot mozgó zsaluzást alkalmazunk, amit a gőzölés, vákuum kezelés, különleges vibrációs eljárások is segítenek abban, hogy a statikailag és szerkezetileg legkedvezőbb formákat egyszerűen és szakszerűen lehessen megépíteni. A megfelelő helyen az előregyártás is bekapcsolódik, és ezzel utat nyit a héjszerkezetekkel való építésmód számára gazdaságossági szempontból olyan sok helyen kívánatos nagyüzemesítéshez. Ha meggondoljuk azt, hogy a legtöbbször nagyon vékony héjzat építéséhez

ugyanilyen, formájában teljesen azonos, fából művészién megmunkált zsaluzás szükséges, akkor az előregyártás a héjaknál fokozott figyelmet érdemel.

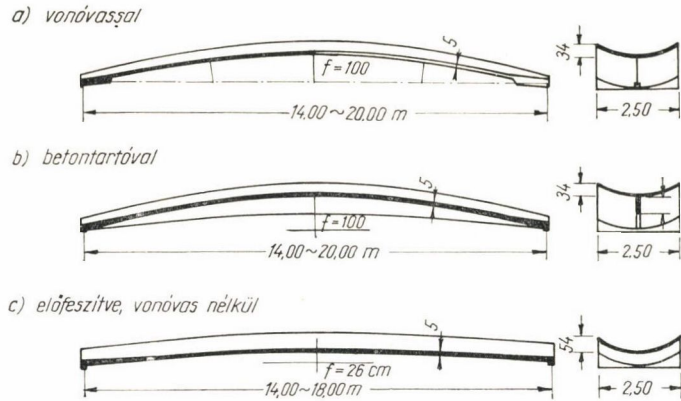
Az eddigi monolitikus vasbetonhéjak alkalmazása kifejezetten egyéni jellegű felhasználási területre korlátozódott, amit gyakran nem a feszítávolságra vonatkozó követelmények, mint inkább az építész vagy az építtetőnek a kiala-



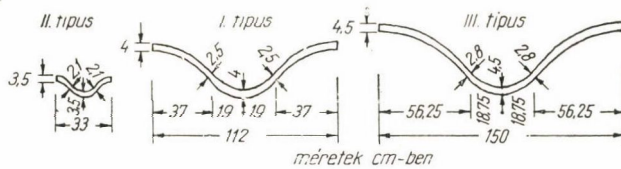
1. ábra. Hullámháj vonóvassal, Lengyelország

kítási formára való kívánsága diktált. Az előregyártás lehetővé teszi, hogy a héjszerkezeteket sokféle célra, általános szükségletre szolgáló, elsősorban ipari építményeknél is alkalmazzák. A fejlődésnek természetesen bizonyos meghatározott formákra kell korlátozódnia, amelyek sorozatgyártásra alkalmasak. Itt a rétegesen egymásra helyezett előregyártásos rendszer vákuumkezeléssel kombinálva vagy csak elektromos vákuumkezelés látszik a legjobbnak.

A jövőben a héjszerkezetek alkalmazásánál a statikai és szerkezeti követelmények miatt ideálisan alkalmas vasbeton mellett a gazdaságilag kedvező körülmények között a nyerskerámiai elemek és az alumíniummal való építkezés lehetőségét is figyelembe kell venni. Éppen az alumíniummal való építkezés fejlődésének volt Magyarországon figyelemre méltó sikere. Faanyagot főleg Angliában használnak, ennek azonban népgazdasági okokból — a legtöbb, még fában gazdag országokban is — mind kisebb a lehetősége. A műanyagok



2. ábra. Silberkuhl-féle héjtartó három kivételben

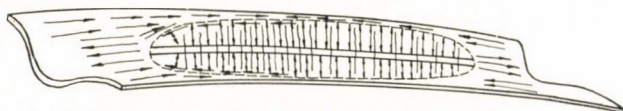


3. ábra. Hullámhéjtartó, Schöning cég

hozzá fognak járulni a héjszerkezetek nagyobb mértékben való alkalmazásához, gazdaságosságuk, a héjakhoz alkalmas szilárdságuk és a kisméretű plasztikus tulajdonságaik adják meg a kedvező előfeltételeket.

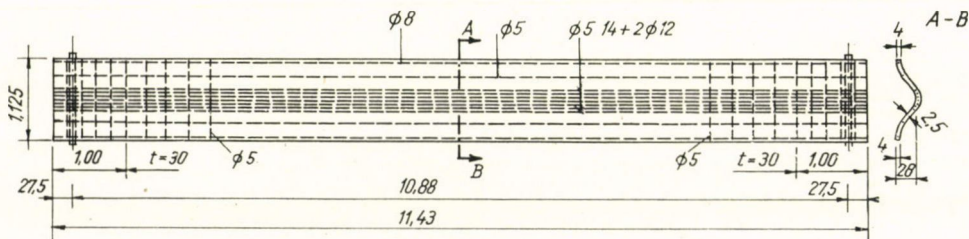
**Előregyártott hullámhéjak.** A helyszíni betonozással készült egyszeres görbületű hullámhéjak eléggé ismertek, és több országban gyakran alkalmazzák azokat. A hullámhéjakat elsősorban Lengyelországban, Bulgáriában és Csehszlovákiában próbálták ki (1. ábra). Ezekben az országokban a héjakat háromcsuklós ívek formájában vonóvasalal készítették. Itt utalunk a forgási hyperboloid Silberkuhl-féle héjtartóra, amely a közelmúltban a nyugat-európai országokban rendkívüli mértékben elterjedt, és lényegében három fajtája különböztethető meg (2. ábra). A keskeny héjtartókhöz tartoznak még a *Leuna-héjtartók* és az *Efid-középhéjtartók*. Tetszés szerinti épület lefedésére maximálisan 18 m fesztávolságig első ízben a Schöning cég (Karl-Marx-Stadt) és a szerző alakított ki gyengén vasalt, kettős görbületű hullámhéjtartót (3. ábra). A szerkezet és a számítások alapját képező elgondolásokat röviden a következőkben ismer-

tetjük: Az egy görbületű hullámhég nyíróerő eloszlása megközelítő módon ismert. Kis szerkezeti magasságok és kis hullámszélesség esetén az elérhető feszítávolság tekintetében ezeknek alkalmazása korlátozott. Előfeszítéssel a korlátozások eltolódhatnak, de a költségtényezőt nem szabad figyelmen kívül hagyni. A hullám-elemeket sokszor háromcsuklós ívekké vagy hasonló szerkezetekké rakták össze. A konstans görbületű és konstans vastagságú egyszerű hullámhég a szóban forgó célokra szükséges kis szerkezeti magassága miatt



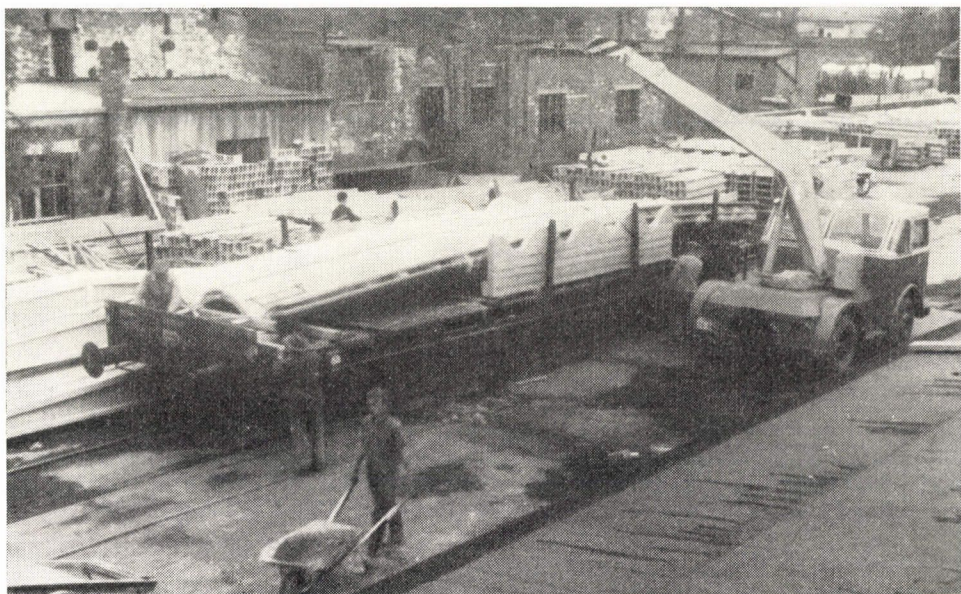
4. ábra. Hullámhég tartó belső erőinek sematikus ábrázolása

nem rendelkezik a szükséges hordképességgel. Mivel azonban a hullámkeresztmetszet a legjobb technikai és kialakítási lehetőséget nyújtja, foglalkozni kell olyan megfontolásokkal, amelyek segítségével az alakváltozás viselkedését javítani, a hordképességet növelni lehet. A bordázat az elkészítés szempontjából kedvezőtlen, a „réteges egymásragyártás” nem jöhet számításba. Ha ezt a készítési módot, tehát kb. 10 héjnak egymás fölött való elkészítését akarják keresztülvinni, akkor az inflexiópontban a szélességet, a szerkezeti magasságot és lejtést meghatározott keretek között kell tartani. Ha az egyik hullámnak hosszirányban érzékelhető görbületet adnak, ez a tartóképességre lényeges befolyást gyakorol. Lapos ívek esetén ( $f_1 \approx f_2$ ) „térbeli tartóhatással” van dolgunk, amit vonóvassal ellátott ív tartóhatásával hasonlíthatunk össze. Ha a



5. ábra. Hullámhég tartók vasalása

hosszirányban is hajlított hullámhég tartó mindkét pozitív görbületű felső részét a semleges vonal hosszában az alsó negatív hullámrész metszi, akkor az utóbbi meghajlított húzott tag funkcióját tölti be. Ennek a húzott tagnak elmozdulásait a két pozitív görbületű résznek kell felvennie (4. ábra). A hordképesség növelése céljából kézenfekvő a keresztmetszet pozitív görbületi részét erőteljesen kiképezni. A határesetet itt is a technikai feltételek szabják meg. A húzott vasalás lehorgonyzó erejéből származó feszültségek nem olyan nagyok, hogy ezeket a beton ne tudná egyedül felvenni. Ha a héjtartót megterheljük, akkor elsősorban a héj és az alépítmény alakváltozási tehetetlensége az alakváltozást és a feszültségi állapotot, illetőleg az előfeszítéshez hasonló hatást fejt ki. Valószínűleg ez a magyarázata a héj húzott övében jelentkező nagyfokú repedéseknek, ami a zsgorodás következményének fogható fel. A héjtartó



6. ábra. Hullámhéjtartók berakása



7. ábra. Hullámhéjtartók szerelése

további deformálódása ezután a már ismertetett következményekhez vezet (4. ábra), amely a tartó közepén jó megközelítéssel hajlításra igénybevett gerenda esetével azonosítható. A nagyfokú deformációs merevségből következik, hogy a lehajlás sokkal kisebb, mint azonos méretű, egy-görbületű hullámhéjnál. A törés előtt közvetlenül fellépő hosszirányú repedések is erre mutatnak.

Fontos, hogy e kérdést ne csak rugalmasság-eméleti szempontból vizsgáljuk, hanem a vasalás mennyiségének, módjának és elosztásának a térbeli tartóhatásra gyakorolt befolyásával. Ennek kapcsán ezeknek az alakváltozás, a repedésképződés és a törési állapotra való hatását behatóan tanulmányozni kell, amire elsősorban a kísérletek adnak lehetőséget. A rugalmassági elméletnek megfelelő vizsgálatokat sem szabad elhanyagolni. Itt utalunk a *Doganoff* által végzett kettős görbületű héjakra vonatkozó kísérletekre. Az általa kapott eredményeket a Rühle és Hoffmann által modelleken végzett kísérletek egészítik ki.

*Gyártás és szerelés.* A héjak vasalása (5. ábra) egyszerűen készíthető. A hosszirányú vasalás a felfekvés területén 1,0 — 2,0 m hosszon, 5 mm átmérőjű keresztirányú vasalással, ponthegesztéssel van összeszerelve, a kampók elmaradnak. A vasak betonfedése a tartó közepén alul 1,0 cm, felül 1,5 cm.

A hullámhéjtartókat réteges egymásragyártással készítik, 5 rétegben. Ez az eljárás rendkívül nagy teljesítményt biztosít és gazdaságos. Az egyes betonhéjakat gumilap választja el egymástól. Eddig az összes eljárások közül ez mutatkozott a legelőnyösebbnek. Az eljárás néhány követelményt támasztott a keresztmetszettel szemben, hogy az egymásra helyezett héjak egyforma méretűek és vastagságúak legyenek. Az eljárást továbbfejlesztik és megkísérlik, hogy még jobb felületi minőséget érjenek el lesimított, kész hullámhéjak közbehelyezésével.

A héjakat 5—6 órai előzetes tárolás után egymásra helyezve zárt térben gözőlik. Megszilárdulás után a héjak könnyen leemelhetők és közbenső tárolóhelyre szállíthatók. Előnyös volna minden bizonnyal a Kopyczinski által ajánlott vákuumkezelés alkalmazása is.

A szállítás rendes vasúti vagonokban vagy mélyített rakterű kocsikban történik (6. ábra). A héjakat lágy közbenső rétegekkel elválasztva nagyobb mennyiségben egymás fölé halmozva lehet szállítani. Az egymás fölé halmozás és szállítás azért is előnyös, mert a héjnak nincs bordázata, rendkívül ellenálló az alakváltozással szemben, repedés-biztos. A szabad szegélyek (peremek) merevítése a szállítás és szerelés céljából felesleges. A több rétegben egymás fölött való előállítás a zsaluzási költségek és a helyszükséglet csökkentését teszi lehetővé. A gyártás messzemenően nagyüzemszerűen oldható meg.

A héjtartókat autó- vagy toronydarukkal lehet szerelni (7. ábra). Az ék-alakúan kialakított hosszanti fugákat habarccsal öntik ki. Hideg tetőknél általában elegendő bitumen vagy még inkább PVA-Latex kenést alkalmazni tetőburkolatként. Célszerű az ilyen PVA-Latex réteg alkalmazása előtt a héjfelületet fluatozni, mivel a Latex-kenés lélegzik, és kismértékben nedvességet bocsáthat át. A meleg tetőket 2—5 cm vastag esztrich, expandált parafa vagy ehhez hasonló anyagból levő szigetelőréteggel látják el, s erre jön a fedéllemez vagy fóliaborítás. A hullámhéjtartó alakjának megfelelő tetőfedések, amelyek elhelyezése az eddigieknél olcsóbb és egyszerűbb, nagy előnyt jelentenek. Előnyös hidegtetőnek aláfüggesztett közbenső födémrel való kombinálása. A vízelvezetés az ereszen aláfüggesztett műanyag- vagy alumínium ereszcsonornában, illetve csőcsonkkal ellátott csöveken keresztül történik.

## Gyengén vasalt III. típusú hullámhajtartók műszaki adatai

Feltételezett terhelések: Önsúly  $g_1 = 2.500 \text{ kp/m}^3$   
 4 cm facement +2 rétegű fedéllemez  $g_2 = 420 \text{ kp/m}^3$   
 Hó  $75 \text{ kp/m}^2$  (vízszintes vetületre)

Támaszköz 1 (m)	9,0	10,0	12,0	14,0	15,0	18,0
Tartónyomaték (Mpm)	3,1	3,8	5,45	7,45	8,55	12,3
Eredő húzóerő (Mp)	9,8	12	17	23	27	39
Húzóerő (Mp) (m. z. $\approx 33 \text{ cm}$ )	9,4	11,5	16,5	22,5	26	37
Vasalás ( $F_e$ ), ha						
$\sigma_c$ megeng. = 1,4	6,5	8,5	11,8	16,0	18,5	26,0
= 2,2	4,5	5,5	7,5	10,0	11,8	16,5
= 2,4	3,9	5,0	6,9	9,5	10,8	15,0
Nyomófeszültségek üzemi állapotban ( $\sigma_B \text{ kp/cm}^2$ )	25—30	40—45	55—60	75—80	85—90	120—125
Szükséges betonminőség	B 225	B 225	B 225	B 300	B 300	B 450
Anyagszükséglet						
Beton $\text{m}^3/\text{m}^2$	0,043	0,043	0,043	0,043	0,043	0,043
Acél $\text{kp/m}^2$ , ha						
$\sigma$ megeng. = 1,4	5	6,5	8,0	10,5	12	16,5
= 2,2	4,5	5,0	6,0	7,5	8,5	11,0
= 2,4	4,0	4,5	5,5	7,0	7,5	10,0
Költség DM/ $\text{m}^2$						
Komplett szállítással és szereléssel együtt						
Acél St I	25,1	25,9	26,7	28,3	29,1	32,1
Acél St IIIa	25,0	25,3	25,9	27,1	27,4	29,6
Összsúly	1,62	1,78	2,1	2,43	2,65	3,08

Előfeszített sík hullámhéjak anyagszükséglete ( $B = 2,0 \text{ m}$ )

Támaszköz m	Beton B 300 $\text{m}^3/\text{m}^2$	Acél 140/160 $\text{kp/m}^2$	Acél I. $\text{kp/m}^2$	Acél összesen $\text{kp/m}^2$
12	0,055	1,0	2,05	3,05
18	0,055	2,45	2,2	4,65

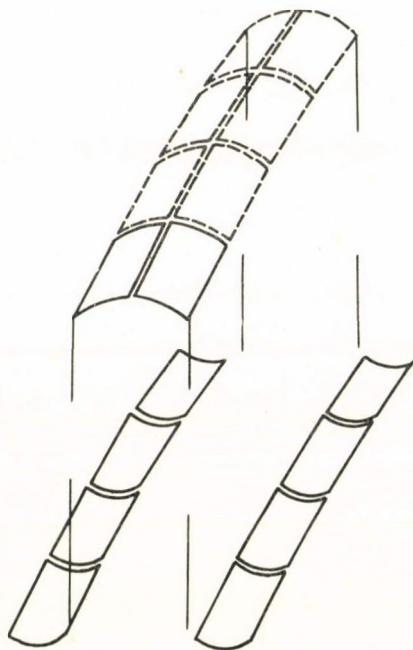
A hullámhajtartók különösen kisebb lapostetejű épületek lefedésére alkalmasak (műhely, garázs, fürdő-, istálló-, tornaterem-, raktár-, szárító-, váróterem-, kiosk épületek stb.), amelyeknek feszítávolsága 5—15 méter között van. A 15 méter feszítáv lefedésére alkalmas héjtető az ipari építkezés sokféle céljára alkalmas.

Eddig két kisebb betontelegen kb. 80 000  $\text{m}^2$ -t készítettek. Az első kísérleti héjak, amelyeket gőzölő berendezést magában foglaló betonteleg fölé épí-



tettek be, az erős nedvesség-behatás ellenére már négy év óta kitűnően beváltak. Jelenleg egy másik előregyártó telep 1,5 m széles, 15 m hosszú héjtartók készítésére rendezkedett be. Az 1. táblázat a II. típusú hullámhéjtartó anyagfelhasználását, a súlyokat és a költségeket tartalmazza.

Az utóbbi időben kísérletek folytak a csúszózszaluzással előállított hosszirányú, görbület nélküli előfeszített hullámhéjak alkalmazására. A 2. táblázat 0,2 m széles előfeszített hullámhéjak anyagszükségletét tünteti fel.



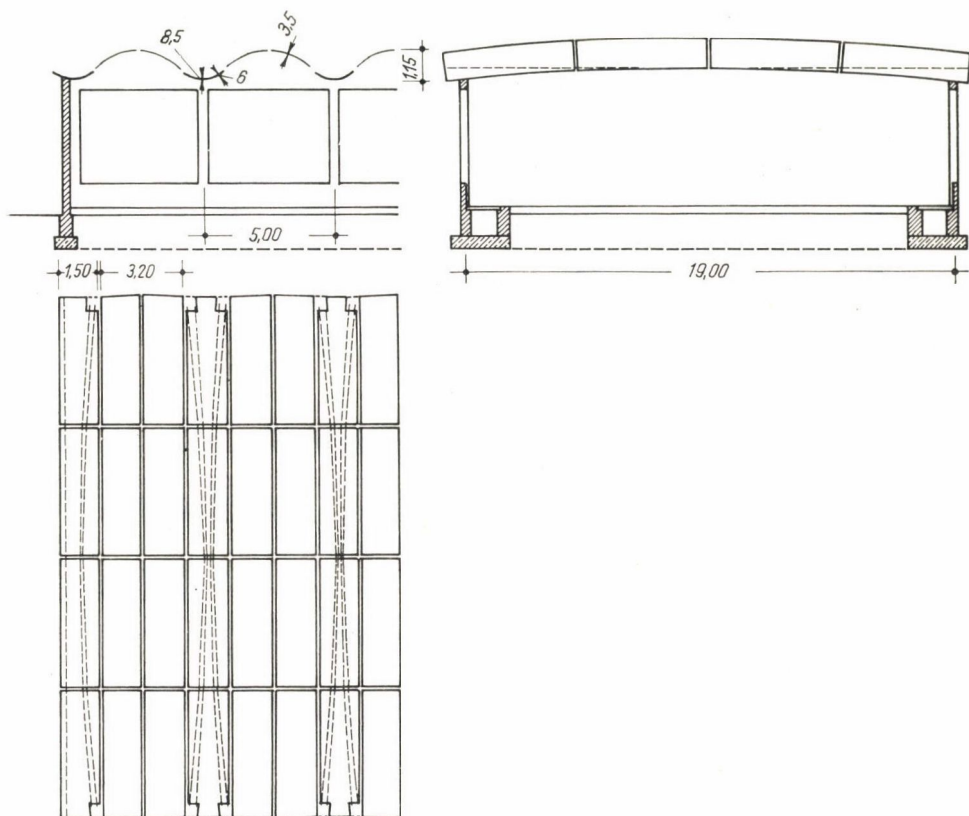
8. ábra. Szimmetrikus részekre bontott hullámhéj

*Részekből előregyártott, utófeszített hullámhéjak.* 18—36 m közötti fesztávok lefedésére részekből állítanak össze hullámhéjakat, és ezeket egymáshoz utófeszítik (8. ábra). Ezt az eljárást először Doganoff—Hoffmann—Rühle alakította ki, és első ízben, a szakirodalomban részletesen ismertetett csarnoktetőt Coswiganban (Szászország) alkalmazták. A tervezési munkát Hoffmann, Rühle és Wöpke mérnökök vezették, míg a kivitelezést a VEB Montagebau Berlin végezte (9. 10., 11., 12. ábra).

Előregyártott elemeknek utófeszítéssel szerkezeté váló alakítása ma már bevált technikai módszer, amelyet héjszerkezet és lemezművek esetében is fel lehet használni. Itt azonban nagy gondossággal kell a forma és a gyártás közötti összefüggést tanulmányozni.

Mint elsősorban fontos alapfeltételt, a kettős görbületű héjak beosztását a gyártás-raszternek megfelelő összeállításban vizsgálták meg 18,00—36,00 m fesztávolságokra (3. táblázat). A rugalmassági elmélet szerinti pontos számítás nagyon nehéz. Eddig még senki sem volt hajlandó ezt elvégezni. A modell- és

nagy méretekben végzett kísérletek azonban alapos ismereteket adtak a statikai kérdésekről. A hullámhéjak gyártását és szerelését a *VEB Montagebau Berlin* végzi, a gyártás az előregyártó telepen betonmatricákon történik. A részeket vasúton vagy teherautón való szállítás után az építőhelyen az emelőberendezés gémkarjának kinyúlási területén belül szerelik össze és előfeszítik. Az egész héjat, amelynek szélessége 6 m és fesztávolságai 24 m, 30 m, illetve 36 m, vastartó közvetítésével felemelik és beépítik. Beható gyakorlati megfontolások alapján a földön történő előzetes összeszerelés előnyösebb, mint a Coswig-i kísérleti épületnél alkalmazott szerelési mód. 24 m-nél nagyobb fesztávolságoknál e héj a legolcsóbb és legnagyobb anyagtakarékosságot biztosító tetőszerkezet. Hosszirányú görbületénél fogva előnyös feltételeket ad a szellőzés és vízvezetés számára, és felülvilágító nyílásokkal vagy kerek felülvilágítókkal



9. ábra. Kísérleti csarnok (Coswig, VEB Cowaplast), alaprajz és keresztmetszet

is jól felszerelhető. A kísérleti épületnél szerzett tapasztalatok határozottan pozitívek, mert:

1. Üzemi előregyártása a három — minden fesztávolsághoz felhasználható — héjelemnek réteges egymásragyártással vagy Kopyczinsky-féle vákuumkezeléssel betonmatricán könnyen végezhető.

2. Berakása és szállítása vasúti vagonokban vagy közúti teherjárműben nem okoz nehézségeket (maximális szállítási szélessége 3,0 m).

3. Egymásra rakása és elhelyezése az építőhelyen réteges egymásragyártás módszerével könnyű autódaru segítségével is elvégezhető.

3. táblázat

Előfeszített hullámhajtató 6,00 m széles, 24,00—36,00 m hosszakkal

Terhelési esetek:  
0 terhelési eset

vasbeton súlya 2600 kp/m<sup>3</sup>  
hőszigetelés + borítás 20 kp/m<sup>2</sup>  
hó 75 kp/m<sup>2</sup>

I. terhelési eset  
II/a terhelési eset  
II/b terhelési eset  
II/c terhelési eset

installációval  
alsó födémmel  
függő daruval  
futómacskával tetszés szerinti helyen.

A mutatószámok párkány nélkül csak 6,00 m hullámhíjjal értendők.

Rendszer hosszúság m	Szerelés súlya (Mp)		Beton		Terhelési eset	Acélszükséglet Kp/m <sup>2</sup>		
	Változat 1	Változat 2	Minőség B	Szükséglet m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup>		Feszítő- huzal St. 160	St. I.	Össze- sen
	teljes hullám	teknőhøj boltozat						
24	25,9	(~ 2,0 · 5)	300	0,069	O	1,5	3,7	5,2
		10,0			I	1,6		5,3
		3 · 3,1			IIa	2,5		6,2
		2 · 3,3			IIb	1,9		5,6
					IIc	2,2		5,9
30	31,0	(~ 2,0 · 6)	300	0,066	O	2,1	3,8	5,9
		12,0			I	2,3		6,1
		4 · 3,1			IIa	3,5		7,3
		2 · 3,3			IIb	2,6		6,4
					IIc	3,1		6,9
36	36,1	(~ 2,0 · 7)	450	0,063	O	3,5	4,0	7,5
		14,0			I	4,4		8,4
		5 · 3,1			IIa	5,8		9,8
		2 · 3,3			IIb	4,4		8,4
					IIc	5,1		9,1



10. ábra. Felső héj előszerelése

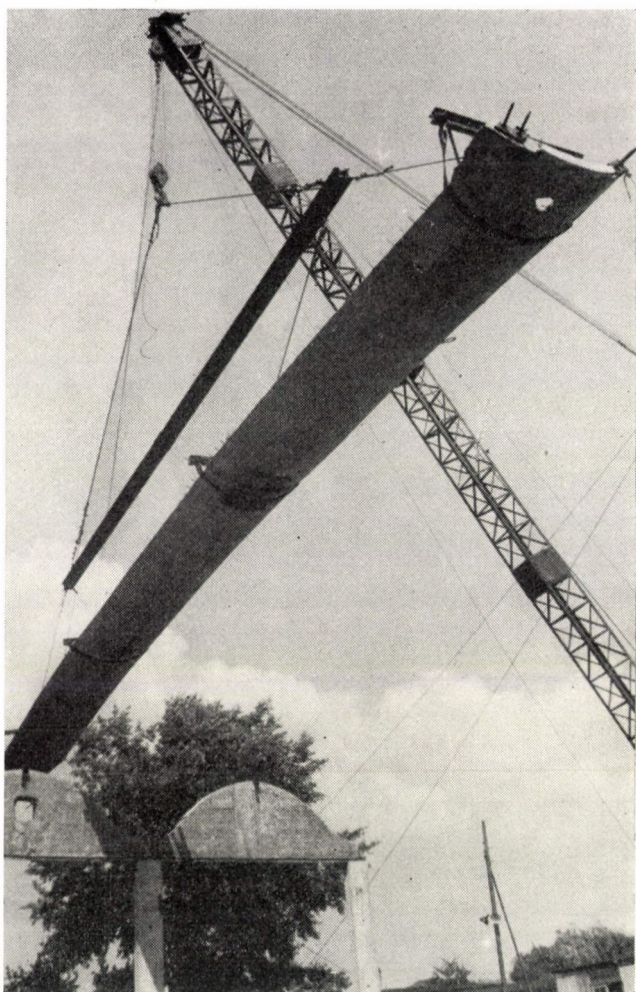
4. 2—3 rétegben egymásragyártással készült donga előfeszítése egymás fölött a földön (beleértve a felszakítást) nem okoz nehézséget.

5. A héj beemelése és szerelése vastartó közvetítésével és nehéz Derrick daruval eszközölhető.

A 3. táblázat hullámhék anyagszükségletét hasonlítja össze más szerkezetekkel.

*Előregyártott, utófeszített redős lemezekből összeállított tetők.* Doganoff — Hoffmann — Rühle eljárását először Schaarschmidt alkalmazta az általa tervezett csarnoknál (13. ábra). Az előregyártott redő-elemekből utófeszített tető 5,5 cm vastag és 24 m szélességben van feszítve. Az 5,25 m széles és 3,6 m hosszú lemezelemek súlya kevesebb, mint 3,0 tonna. A redők (Falte) szerelése mozgó állványzatról történt, amelyen ezeket egymáshoz feszítették. Ezt az építésmódot az elmúlt években tovább fejlesztették, bár anyagfelhasználás és költségek tekintetében nem olyan kedvező, mint a hullámhék. A redős lemezű formája mindig kedvelt volt az építészek körében, ezenkívül a meleg- vagy nedves-üzemekben szellőzés tekintetében nagy előnyökkel rendelkezik. Szerkezeti és kivitelezési elvek szempontjából a redős lemezű is tovább fejlődött, akárcsak a „barokk” hullámhék.

A sík lemezeket vibrálóasztalon vagy hasonló módszerrel behelyezett hüvelyekkel készítik. Az előregyártó telepről a szállítás több darabban, függőleges helyzetben történik. A földön felépített szerelőállványon állítják össze ezeket a lemezeket V-alakban, előfeszítik és kiöntik, amikor is mindig három redő van egymásra fektetve. A szerelést azután a tartókon (támaszokon) Derrick-daruval eszközlik. A tapasztalatok azt mutatták, hogy ezeknek a redőknek szabad peremeit a szerelés alatt acélgerendákkal kell merevíteni, hogy a kihaj-



11. ábra. Az előfeszített alsó héj szerelése

lás elkerülhető legyen. Minden elhelyezett redőt a már fekvő redő előzőleg beépítetten maradó acélgerendájához csatlakoztatnak. Ezzel a módszerrel épült fel a VEB Üvegszál-gyárának csarnoképülete Oschatz-ban, melynek fesztávolsága 30 m, hossza 90 m. Ennél a csarnoképületnél összesen 18 000 m<sup>2</sup> tetőt szereltek össze. A lemez vastagsága itt 7 cm. A kivitelezést a VEB Bau-Union Lipcse végezte, a generáltervező a VEB Industrieprojektierung (Ipari Tervező Vállalat) Drezda volt. Építés alatt áll egy kemencecsarnok, melynek hossza 200 m és fesztávolsága 30 m, itt a lemezek vastagsága 5,5 cm. A redő két végén a feszítőfejek számára a megvastagítást itt úgy oldották meg, hogy ez a külső fal üvegezése számára egyszersmind felfekvésül is szolgál. Ennek az épületnek kivitelezését a VEB Bau- und Montagekombinat Kohle végezte, a VEB Hochbauprojektierung Bautzen és a szerző tervei szerint.



12. ábra. Beszerelt szélső mező



13. ábra. A Drezdai Szállítástechnikai Intézet (Institut für Fördertechnik der TU Dresden) lemezműves tetőszerkezete

Azt, hogy a redőket ívekké is össze lehet feszíteni, egy jelenleg építés alatt álló 28 m fesztávolságú káliumraktárcsarnok példája mutatja. Az egész csarnok 3 különböző, V alakú előregyártott elemből fog felépülni. A 8 cm vastag elemekből (súly 2,26 Mp) először félköríveket állítanak össze, és ezeket egymáshoz feszítik. A 8 cm vastagság a kálisók aggresszivitása miatt azért szükséges, hogy az acél szerkezeti részeknek megfelelő vastagságú betonborításuk legyen. A két félkörívet azután a felülvilágítók magasságában helyszíni betonozással készült illesztéssel teljes ívvé kötik össze úgy, hogy statikai szempontból befogott ívvel van dolgunk. Az ív záradékában a felülvilágító felépítményét szállítószalag terhelésére is méretezték.

A tanulmány a héjak előregyártásának szerény fejlődéséről szóló beszámolóval azt kívánja megmutatni, hogy a héjak jelentősége az elmúlt években megnövekedett.

#### IRODALOM.

- [1] *Rühle, H.* : Die Rationalisierung des Entwurfes und der Ausführung von Schalengebäuden. Bauplanung — Bautechnik (1956) H. 3, S. 111—119.
- [2] *Rühle, H.* : Bemerkenswerte neuere Entwicklungen der Schalenbauweise in Bulgarien, der CSR, Polen, Ungarn und Deutschland. In: Proceedings of the Second Symposium on Concrete Shell Roof Construction. Teknisk Ukeblad, Oslo (1958).
- [3] *Klimek, Meus und Holcman* : Tonnendach aus vorgefertigten wellenförmigen Stahlbetonschalen. Inżynieria i Budownictwo (1955) H.6, S. 189—197.
- [4] *Rzedowski und Kopyczinski* : Aktuelle Baumethoden und Baukonstruktionen im polnischen Bauwesen. Die Montagebauweise mit Stahlbetonfertigteilen im Industrie- und Wohnungsbau. II. Kongress Dresden 1957. VEB Verlag Technik Berlin 1958.
- [5] *Elsner* : Vorgefertigte hp-Schalenträger. Bauwelt 9 (1958) S. 198.
- [6] *Bienert, G.* : Entwicklung und Anwendung vorgefertigter Schalenträger in der DDR. Die Montagebauweise mit Stahlbetonfertigteilen im Industrie- und Wohnungsbau. II. Kongress Dresden 1957. VEB Verlag Technik Berlin 1958. S. 313.
- [7] *Doganoff, J., Hoffmann, C. und Rühle, H.* : Schalen- und Faltdachdächer aus vorgefertigten, zusammengespannten Stahlbetonelementen, Bauplanung — Bautechnik (1959) H. 10, S. 441 und H. 11, S. 511.
- [8] *Doganoff, J., Hoffmann, C. und Rühle, H.* : Shell and fold structure roofs out of precast, prestressed reinforced concrete elements. International Colloquium on Construction processes of Shell structures. Madrid (1959), Vorbericht a-12.
- [9] *Rühle, H.* : Die Verwendung von Gipsmodellen für experimentelle Untersuchungen von doppelt gekrümmten Wellenschalenträgern und Kegelstumpfschalen und ihre Ergebnisse. Proceedings of Symposium on Shell Research (IASS) Delft (1961). North-Holland Publishing Company, Amsterdam.
- [10] *Hoffmann, Rühle, Thiele, Tyc* : Entwicklung eines neuartigen vorgefertigten Wellenschalenträgers. Bauplanung — Bautechnik (1960) S. 143.
- [11] *Kopyczinski* : Herstellung von Schalenfertigteilen.