

# A BETON ÉS A CÉLSZERŰEN ALKALMAZOTT BETONACÉL

KALISZKY SÁNDOR PROFESSZOR, A KÉPLÉKENYSÉGTAN TUDÓS MŰVELŐJE EMLÉKÉRE



Prof. Dr. h.c. mult. Polónyi István

**Kulcsszavak:** a vasbetontervezés kritikája, a betonacél szerepe, célszerű mennyisége, elrendezése

## 1. BEVEZETÉS

A beton, az *opus cementitium* a rómaiak gyakran használt építőanyaga volt. Mivel a betonnak a nyomószilárdsághoz képest kicsi a húzószilárdsága, olyan szerkezeteket építettek, amelyekben nem lépnek fel húzó igénybevételek: boltív, kupola (boltozat). Így például a 128-ban felavatott római Pantheon. A kupola átmérője 43 m.

Időközben a betont elfelejtették. A XIX. század közepén a francia kertész, Joseph Monier a virág vedreit homokból cementtel és drótgúróval készítette. Találmányát 1867-ben szabadalmaztatta. Az építőmesterek felfigyeltek erre a kompozit anyagra, és igyekeztek építményeikben felhasználni. Ehhez persze számítási módszereket kellett fejleszteni.

Roger Bacon már a XIII. században megfogalmazta a természettudomány menetét: ismeret – kísérlet (paraméterek szeparálása) – elmélet/matematika. A vasbetontudósai nem követték ezt az útmutatást. Először rögzítették az elméletet és az ahhoz tartozó számítási menetet, a matematikát, és azután bizonygatták kísérletekkel, hogy ez használható. Ez a vasbetonelmélet lehetővé tette csodálatos építmények létesítését, ami az addigi elképzelést messze felülmúlta. Ezt a kompozit anyagot azonban nem használták ki optimálisan.

Sokirányú tapasztalat, kritika készteti megfontolásra a mai mérnököt. Az elterjedt eljárásokkal tervezett szerkezetek gazdaságossága nem optimális, és a vasalás elhelyezése mindinkább felveti a betonacél-korrózió kockázatát.

A teherbírás, használati követelmények további figyelembe vételével szükség van a tervezési-szerkesztési elvek reformjára.

## 2. A HAGYOMÁNYOS SZERKESZTÉSI ELVEK BÍRÁLATA

A vasalás elrendezésére és számítására három teherhordási modell alakult ki: a boltozathatás, a függőszerkezet és a rácsos tartó. A statikus tervezés az idők során az erők egyensúlyából levezetett rácsos tartó minta alatt állt. Így hát a vasbetontervezésben is a rácsos tartó-analógiát választották a teherviselés modelljének. Ennek megfelelően vasalást építettek be a betonba, ha kellett, ha nem. A kutatók sok kísérlettel igyekeztek ennek a vasalási analógiának a számítását tökéletesíteni. Más lehetőség nem jött számításba. Ha egyes kutatók kísérleteket végeztek más irányban, azokat a gyakorlatban nem vették figyelembe. Így a beton tulajdonságait nem használták ki megfelelően. Az előírások alkotóinak a gazdaságosság idegen fogalom volt, súlypontjukban a teherbírás igazolása kapott helyet.

A vasalást kosarak formájában alakították ki. Ezek hosszvasakból és kengyelekből állnak. Egy ideig még voltak 45°-os felhajlítások, de most úgy látszik, kimennek a divatból. Noha a feszítő kábeleket lehet ívesen vezetni, a nem feszített vasalásnál ez nem oldható meg, már csak azért sem, mert ezt nem tudjuk számolni. A nyírás okoz problémát, mert a fizikai folyamatot nem tudjuk tisztán követni. E téren kísérletekből levezetett képlettel segédkezünk.

Közben kiderült, hogy a kengyelek károsak is lehetnek. Hajlításra igénybe vett elemeknél a kengyelek merőlegesen állnak a húzófeszültségekre, zavarják a beton struktúráját, és repedést idéznek elő. Az itt behatoló nedvesség a kengyelek rozsdásodását okozza. Mivel ez térfogat-növekedéssel jár, e hatás repesztí a betont. Az előírások erre a betonfedés vastagításával reagáltak, ami persze nem csökkenti a repedés valószínűségét. Az a kérdés, hogy a kengyel szükséges-e, ha a fővasalást oly módon vezetjük, hogy a kengyelek fölöslegessé válnak. Ez nem vetődött fel.

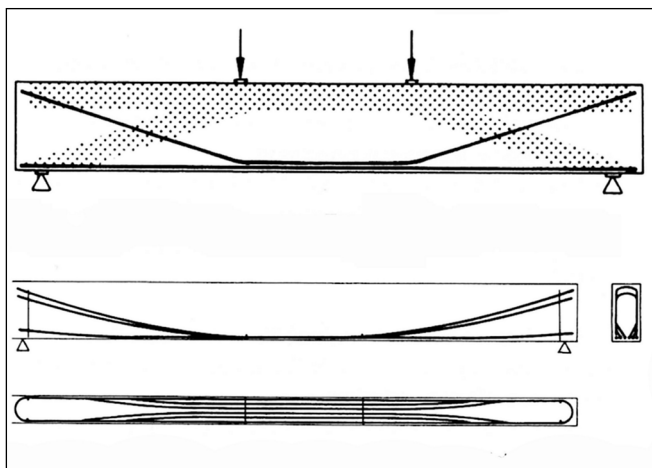
## 3. A VASALÁSI ELVEK REFORMJAI

Kísérletek bizonyítják, hogy kéttámaszú tartóknál az ív és a függőszerkezet-analógia szerint vezetett fővasalásnál a kengyelek elhagyhatók. Optimálisan vezetett vasalásnál a haránterő húzókomponensét a vasalás, a nyomókomponensét a beton veszi fel csúszó igénybevétel nélkül. Az ív és függő szerkezet analógia számításba vételével nem kell kengyel (1. ábra) (Polónyi, 1983, Balázs, 2010, Patzkowsky, 1990). Fontos ismeret, amiről eddig nem volt szó: a vasalás vezetése irányítja a feszültség menetét. Tehát először meg kell határozni a vasalás helyzetét, és aztán meg kell győződni arról, hogy a várt használatnál nem lép fel húzófeszültség, amit a beton nem tud felvenni. Ha vannak ilyen helyek, akkor a vasalás vezetését kell korrigálni, esetleg adalék vasat hozzátenni. Jó vasalás-elrendezésnél elegendő a keresztmetszetek méretezése a mértékadó nyomóerők helyén. Akkor gazdaságos a vasalás, ha a mértékadó teher alatt a törési repedések az összes kritikus helyen egyszerre lépnek fel (Kazinczy Gábor nyomában).

Kísérletsorozattal megállapítandó, melyik karcsúságig érvényes az ív- és a függőszerkezet-analógia és hol lép föl a „szendvics hatás”. Épp úgy tisztázandó, mi az optimális kombinációja az ív és a függő szerkezetnek.

Ne vezessük úgy a fővasalást, hogy abból húzó feszültségek lépnek fel más helyen, amit adalékvasalással pl. kengyellel kell felvenni.

Az elasztikus elmélet a vasbetontartót homogén izotróp



**1. ábra:** A vasalás vezetése az ív és függőszerkezet analógiája szerint (Polónyi, 1983)

anyagból készülnek gondolja, és az igénybevételeket az egyes keresztmetszetekben számolja. Ebből számítja a hajlításra szükséges betonacél keresztmetszetet. Ez a keresztmetszet-szemlélet. Az itt vázolt koncepció a tartószerkezetet vagy tartószerkezetrészt inhomogén szerkezetnek tekinti, amely nyomásra (beton) és húzásra (acélbetét) igénybe vett elemekből áll. A méretezést az így számított erőkre végezzük. Ez a tartószerkezet elmélet (Kaliszky, 1983).

A keresztmetszet-szemléletnél az igénybevétel független a vasalás vezetésétől. A vasalás helyzete rögzítve van. A tartószerkezet-szemléletnél a mérnök az acélbetét vezetésével különféle teherviselést tud beállítani, és azáltal tudja a szerkezetet

optimalni, statikailag határozott tartóknál is (Kaliszky, 1983).

A többtámaszú tartókat, a kereteket és a lemezeket a törési elmélet szerint kell méretezni, ahol is a vasalás elrendezése a képlékeny csuklók kialakulására hat, és ezáltal a számított metszeterőkre is. Ezt az EUROCODE bizonyos határok között megengedi, de ezt ritkán veszik igénybe.

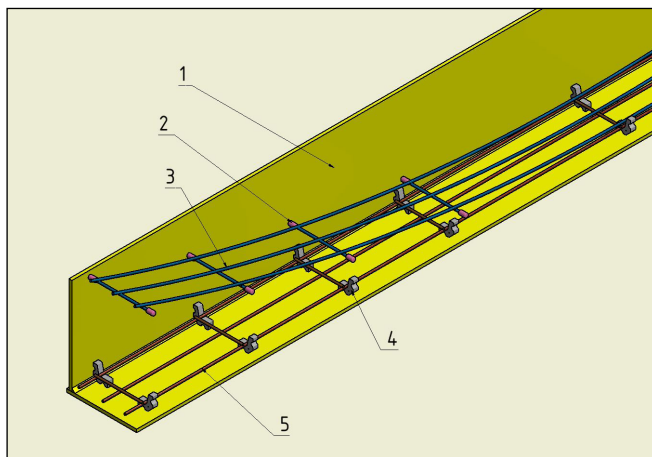
A kengyel nélküli vasalásnál a betonacélokat a zsaluzathoz rögzítjük (2. ábra gerenda, 3. ábra: fal, oszlop) (Bönninger, 2015).

Az építőmérnökök ortogonális síkokban gondolkodnak, ebből következik, hogy az oszlop-alaptest négyzetes, noha rotációs alakzat, aminek egy csonka kúp gyűrűvasalással felel meg (4. ábra) (Polónyi, 1983, Kaliszky, 1983, Bollinger, 1985 Balázs, 2010). Ehhez fele annyi vasra van szükség, mint az előírásban ajánlott ortogonális vasalásnál. A betonacél-gyűrű a peremen van. Egy szűkebb gyűrű az alaptest korábbi átszűrődését idézi elő: Az erő a kisebb gyűrűre támaszkodik, ami pedig nincs felkötve (5. ábra). Itt látható, hogy több vassal a teherviselés csökkenthető. Ez a gyűrűvasalás még bizonyos külpontosságánál is alkalmazható (Styn, 1991, Polónyi, 2003, Balázs, 2010).

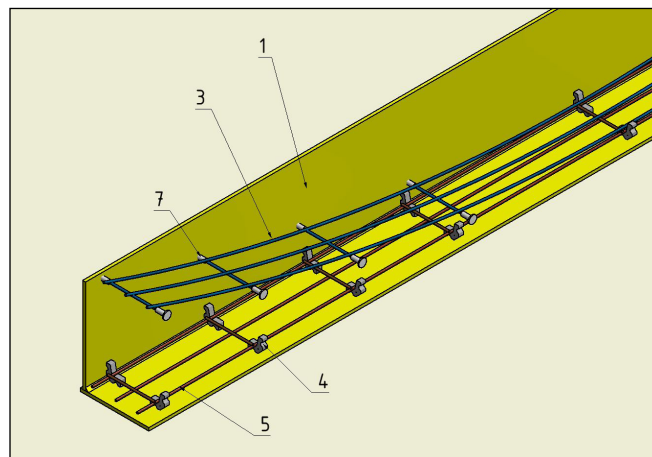
Furcsa, hogy mi a metszeterőket az elasztikus elmélet alapján számoljuk, de a keresztmetszeteket a törési elmélettel méretezzük (Kaliszky, 1983). Következtes lenne az egész méretezést a törési valószínűsége alapozni (Kazinczy Gábor) és nem egy fiktív állapotra vonatkoztatni (Polónyi, 2016). A FEM-programok elemei rugalmasak. Tehát itt is az irányadó, amit számolni tudunk.

Felejtjük el a szerkezeti vasalást és a minimális vasalást. Ezeknek egyetlen indoklása, hogy a szerkezet a vasbeton

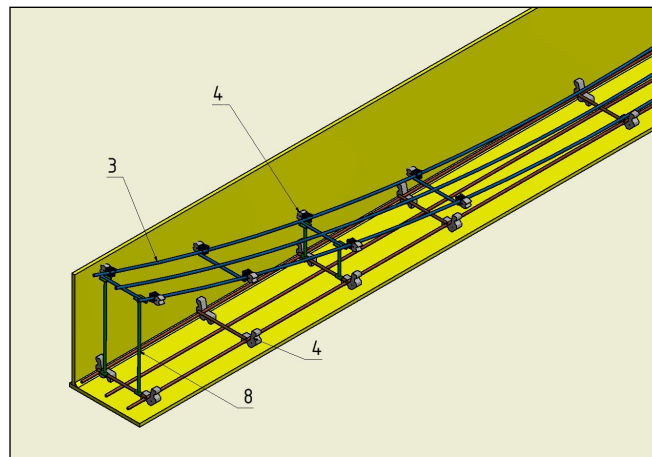
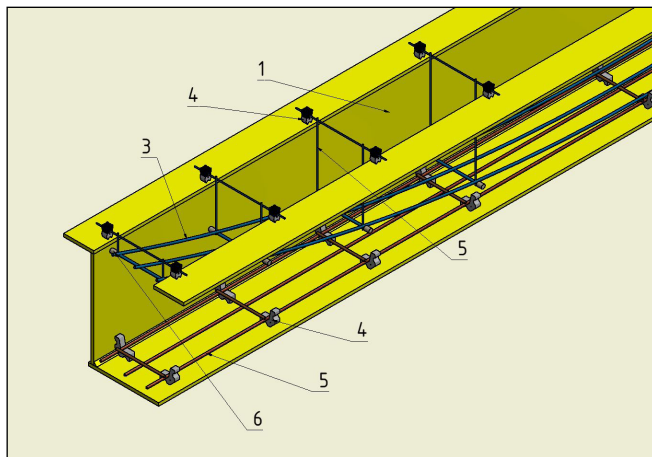
**2. ábra:** A betonacél rögzítése a zsaluzathoz gerendáknál (Bönninger, 2015)



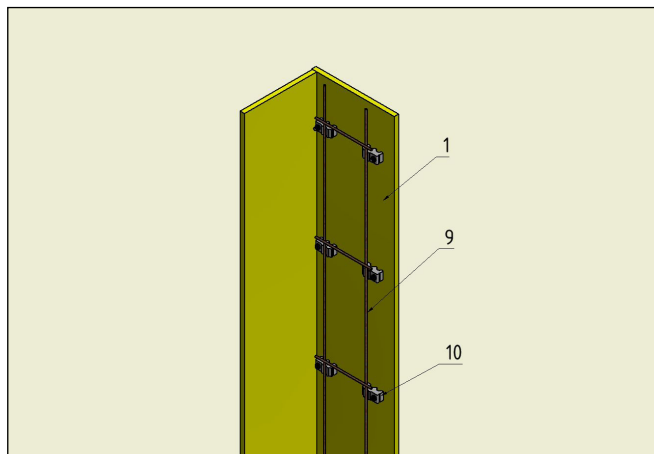
- 1 zsaluzat felülete
- 2 műanyag sapka
- 3 fölhúzott vasalás
- 4 Quick – szálbeton-távbiztosító



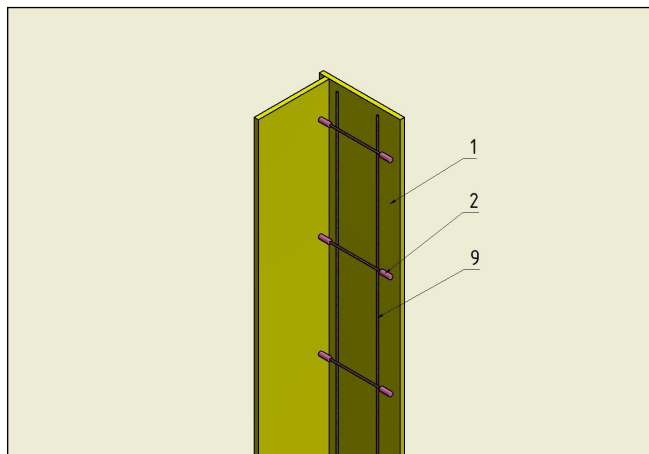
- 5 alsó vasalás
- 6 Quick – vasalás-támasz
- 7 műanyag tok rögzítés a fazsaluzat furatában
- 8 Quick támasztó rúd



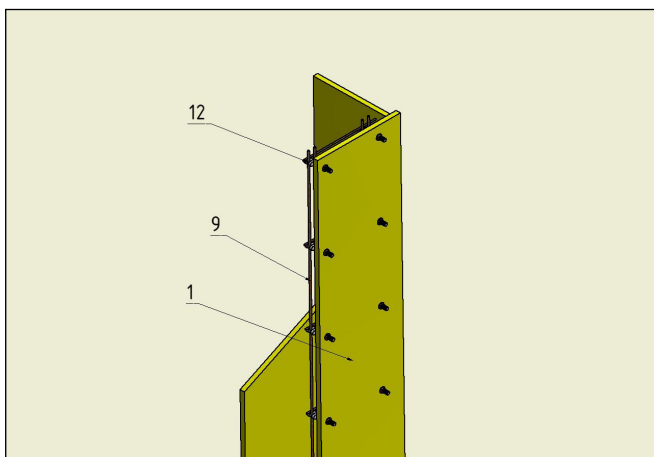
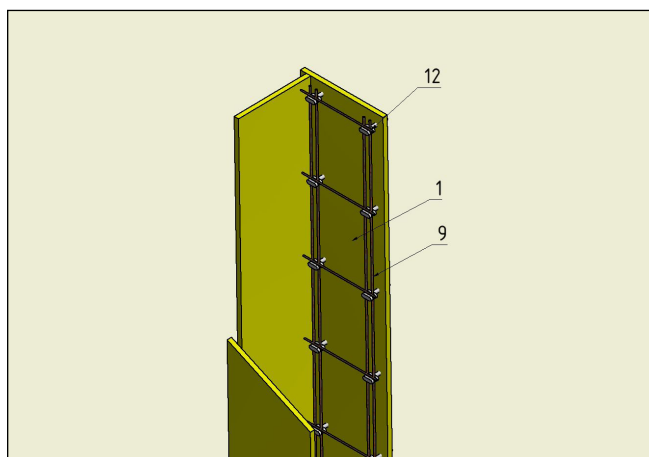
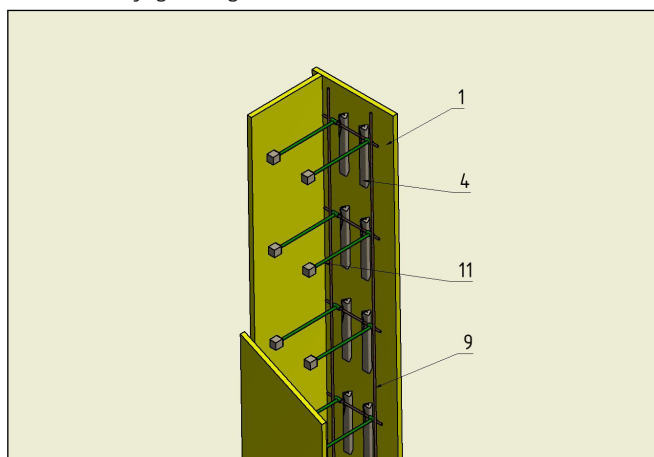
3. ábra: A betonacél rögzítése falaknál és oszlopoknál (Bönninger, 2015).



- 1 zsaluzat felülete
- 2 műanyagcsapka
- 3 fölhúzott vasalás
- 4 Quick – szálasbeton-távbiztosító
- 5 alsó vasalás
- 6 Quick – vasalás-támasz
- 7 műanyag tok rögzítés a fazsaluzat furatában



- 8 Quick támasztó rúd
- 9 vasalás
- 10 Quick – szálasbeton-távbiztosító „Montage-Bipo” szeghüvellyel
- 11 Quick – támaszrúd szálasbeton kockával
- 12 vasalástartó, rögzítés a fazsaluzat furatában



megnevezést nyerhesse el. Ez a vasalás főleg költség, és az elemek használhatóságát rövidíti.

Lemezek szükséges betonacél mennyisége függ a vasalás elrendezésétől (6. ábra) (Gersik, 1991, Polónyi 2003). Kísérletek mutatják, hogy az ortogonális vasalás a leggazdaságosabb. A négyzet alaprajzú lemezek sarkában a torziós vasalás teljesen fölösleges.

A lemez a továbbított törési elmélet szerint akkor van minimális vasmennyiséggel vasalva, ha a törési felületnek egyenletesen elhelyezett repedései vannak.

Az alaplemezen a zsugorodási vasalás káros (Polónyi,

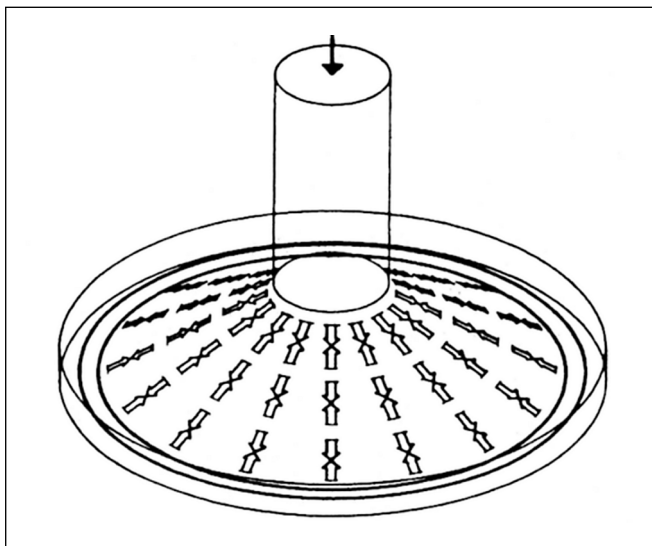
2007). A zsugorodás okozta feszültséget nem vasalással, kell felvenni, hanem a zsugorodást betontechnológiai módszerrel kell leküzdeni: zsugorodásmentes cement, alacsony hidratációs hő, lassú lehűlés, dilatációs hézagok, amelyeket duzzadó cementtel töltenek ki. A zsugorodási vasalás káros, mert a mégis fellépő repedések rozsdásodást idéznek elő, ami a betont is tönkreteszi.

A beton lehetővé tesz görbe felület, héj, kialakítását, amelyekben csak nyomófeszültségek lépnek fel. Ezek felületek pozitív (sinklasztos) Gaussi görbületűek. Ilyenek Heinz Isler hártyahéjai (bubble shells) (7. ábra), amelyeket csak a peremen és a támaszerő bevezetésénél kellett volna vasalni, és a Keramion (Kerámia Múzeum Frechen/Köln) (8. ábra), ahol a felület geometriája úgy van meghatározva, hogy a feszített peremgyűrűvel ellátott héjszerkezetben domináns terhelésnél a feszültség minden pontban és minden irányban azonos (hártyahéj). Ezeket a felületeket vasalatlanul hagyni annak idején elképzelhetetlen volt.

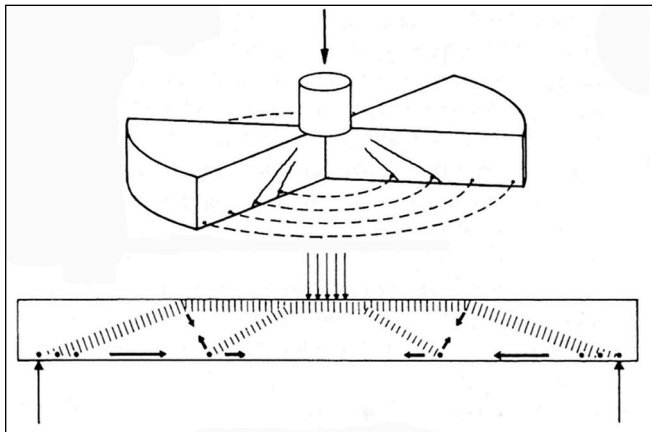
Vasbetétet csak ott építsünk be, ahol húzófeszültség lép fel. Ez vonatkozik a falakra és az oszlopokra is.

A TU Dresden Otto-Mohr-Laboratóriumában végzett összehasonlító kísérlet 25x25 cm keresztmetszetű, 250 cm magas oszlop (C20/25, BSt500S) vasalatlanul és minimális vasalással mutatta, hogy a minimális vasalás 10%-kal növelte a teherbírást, de megduplázta az oszlop árát (Polónyi, 2016). Tehát ha szükség van a nagyobb teherbírára, akkor meg kell növelni a keresztmetszeti területet vagy/és a beton szilárdságát. A nyomóerő felvétele vassal négyszer drágább, mint betonnal.





4. ábra: Kör alaptest gyűrű vasalása (Bollinger, 1985)



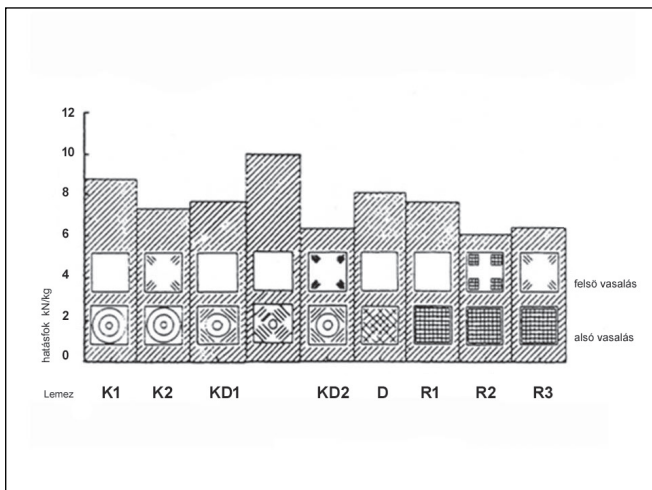
5. ábra: Adalék gyűrű káros hatása (Bollinger, 1985)

Az oszlopokkal végzett kísérletek azt mutatják, hogy a vasalt oszlop a törőteher fellépésekor még egyben marad, de a vasalatlan elem darabokra esik. A hidraulikus eszközzel végzett laboratóriumi kísérletnél a töréskor a terhelés megszűnik, a természetben még megmarad. Tehát a törést azonosnak kell értékelni.

További kísérletek szükségesek a karcsúsági határ megállapítására, és a külpontosan terhelt oszlopok egyoldali vasalására.

Felejtjük el a nyomott vasat!

6. ábra: A vasalás elrendezésének hatása négyzetes lemezeknél (Gersik, 1991)



7. ábra: Bubble shell: Deitinger Süd Rasstätte. 1968, Heinz Isler (fotó: Genzel)



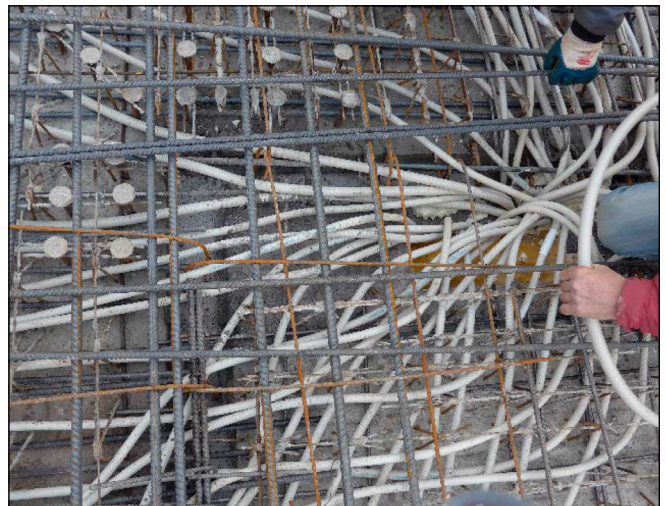
8. ábra: Hartyahéj: Keramion Frechen/Köln 1970, Neufert/Polónyi (fotó: Polónyi)

## 4. HASZNÁLATI HATÁR-ÁLLAPOTOK

A teherbírási határállapoton kívül megvizsgálandók a szerkezet használati határállapotai (alakváltozás, repedéskorlátozás), ezen kívül dinamikus hatás, rezgés, tartósság (fáradás), stabilitás, amelyek a rugalmasságtan körébe tartoznak. E követelmények kielégítésén a fővasalás elrendezése nem változtat. A minimális méretek, a karcsúsági előírások, a deformáció korlátozása általában elegendők a használati határállapotok betartására (Polónyi, 2016).

Ügyeljünk arra, hogy az épületgépészeti elemek bebetonozása ne tegye tönkre a tervezett teherviselést (9. ábra) (Polónyi, 2007).

9. ábra: A födémlemezbe elhelyezett kábelek (Polónyi, 2007) (fotó: Brandmaier)



## 5. MEGÁLLAPÍTÁSOK

A tervezési-építési tapasztalat és több kísérleti kutatás nyomán felvetődik a klasszikus vasbetonelmélet alapján álló eljárások reformja. Logikus elvi megfontolások a beton anyagú szerkezetekben alkalmazott vasbetétek mennyiségének csökkentése, a csupán a vasbeton fogalmát szolgáló minimális vasalás mellőzése. Ez értelemszerűen együtt jár a fővasbetétek elrendezésének reformjával.

A ma érvényes előírások túl sok vasalást követelnek.

- Ezek megdrágítják építményeinket.
- Fölöslegesen terhelik a légkört CO<sub>2</sub>-vel.
- Növelik a rozsdásodási veszélyt, csökkentik a szerkezet tartósságát.
- A vaskosarak megnehezítik az újrafelhasználást.

Mi ott is vasbetont alkalmazunk, ahol a vasalatlan beton is elegendő. Tehát tervezzük építményeinket betonból, és ahol szükséges, tegyünk bele betonacélt. Ezt nevezhetjük acélbetétes betonnak.

## 6. HIVATKOZÁSOK

- Balázs, Gy. (2010), „Beton és vasbeton VII.” Az új vasbeton-koncepció. *Akadémiai Kiadó*, Budapest. pp. 295-308.
- Bollinger, K. (1985), „Zu Tragverhalten und Bewehrung von rotations-Symmetrisch beanspruchten Stahlbetonplatten”, *Dissertation an der Universität Dortmund, Fachbereich Bauwesen*
- Bönniger, T. (2015), „Zuschrift zu: Zuviel Stahl im Stahlbeton”, *Beton- und Stahlbetonbau* 110 (2015) Heft 12, S. 864-865.
- Gersik, M. (1991), „Tragverhalten quadratischer, allseitig frei drehbar und verschieblich gelagerter Stahlbeton Platten in Abhängigkeit von der Bewehrungsführung”, *Dissertation an der Universität Dortmund Fachbereich Bauwesen*
- Kaliszky, S. (1983), „Die neue Stahlbeton-Konzeption und die Plastizitätstheorie”, *Die Bautechnik* Vol. 60 pp. 297-299.
- Patzkowsky, K. (1990), „Bewehren von Stahlbetonbalken mit ausgeklinkten

Auflagern” *Dissertation an der Universität Dortmund, Fachbereich Bauwesen*

Polónyi, S. (1983), „Ansätze in der Konzeption des Stahlbetons”, *Die Bautechnik* Vol. 60 (1983), pp. 109-116.

Polónyi, S. (2003), „Die neue Stahlbetonkonzeption in Polónyi und Walochnik”, *Architektur und Tragwerk*, Ernst & Sohn 2003. pp. 309-318.

Polónyi, S. (2016), „Az épületstatika tudományos alapja”, *Mérnök Újság*, XXIII. 12, 2016. dec. p. 13.

Polónyi, S. (2007), „Der armierte Beton im Geschossbau”, *Beton- und Stahlbetonbau*. Heft 3, pp. 187-190.

Styn, E. (1991), „Unterschiedlich gelagerte Kreisplatten mit Ringbewehrung”, *Dissertation an der Universität Dortmund Fachbereich Bauwesen*

**Polónyi István, Prof. Dr. h.c. mult.** (1930 Gyula), 1948-1952 Budapesti Műszaki Egyetem építőmérnöki Kar diákja, 1957- Építőmérnöki iroda Kölnben, 1965-1973 tanszékvezető tanár a Tartószerkezetek Tanszéken, Modellstatika Intézet igazgatója, Műszaki Egyetem Berlin, 1973-1998 tanszékvezető tanár Tartószerkezetek tanszéke Dortmundi Egyetem (az építési Fakultás alapító tagja). Disz doktori címet kapott: Kasseli Egyetem (1985), Budapesti Műszaki Egyetem (1990), Berlini Műszaki Egyetem (1999). A Német Művészeti Akadémia tagja. A Magyar Tudományos Akadémia külső tagja. Számos kitüntetést kapott.

### THE CONCRETE AND THE EXPEDIENTLY APPLIED REINFORCING STEEL

**István Polónyi**

The paper recalls briefly the history of plain and reinforced concrete (R.C.), including the first steps of design and sizing of R.C. in the 19<sup>th</sup> century. The first design methods were based on the conjecture of building masters.

Experimental works at the early 20<sup>th</sup> century were also ruled by the anticipations of specialists dealing with R.C. The result for flexural members was the reinforcing system based on the truss model applying longitudinal bars (eventually with bentups) and stirrups. A basket form was developed. Nowadays it can be stated that stirrups cause cracks along them and consequently lead to steel corrosion.

The Author advises a reinforcing system consisting of parabolic bars (by chance plus straight bars). These are fixed to the formwork. Shear force should be resisted by the concrete. Stirrups are recommended in extreme cases only.

Economical use of steel is generally advised. The role of concrete should be increased. Superfluous steel, e.g. compression bars are to be avoided. Bars should not be applied only for the sake of calling the concrete structure „reinforced.” For calculation, analysis according to the theory of plasticity and general application of probability theory is advised.

Examples for steel sparring for columns, foundation elements, walls and shells are presented.