

Üvegszál erősítésű polimer csatlakozóelemek használata vasbeton szendvicsfalaknál

Use of glass fiber reinforced polymer composite connectors for core insulated concrete sandwich walls

KARDA Szilárd¹, dr. NAGY-GYÖRGY Tamás¹, BOROS József¹

¹ Temesvári Műszaki Egyetem, Építőmérnöki Kar, Románia,
300223 - Temesvár, T. Lalescu u. 2, Tel/fax: +40 256 403935, e-mail:
szilard.karda@student.upt.ro, www.ct.upt.ro

ABSTRACT

This paper aims to provide a proper solution to reduce punctual thermal bridges for core insulated concrete sandwich walls by using glass fiber reinforced polymer composite connectors instead of traditional steel rebars. The comparison between these anchors was made considering aspects as energy efficiency by evaluating the thermal behavior of the fasteners and the heat loss through the external wall, as well as cost efficiency by determining the application cost and sustainability.

KIVONAT

Jelen dolgozat egy alternatív megoldást ismertet a vasbeton szendvicsfalakban kialakuló pontszerű hőhidak csökkentése érdekében, ahol a hagyományos vasbeton acél csatlakozóelemeket üvegszál erősítésű polimer betétek helyettesítik. A két típusú kapcsolóelem energia- és költséghatékonyság szempontjából került elemzésre, összehasonlítva ezáltal a betétek hőtechnikai viselkedését, a hőhidak okozta hővesztéséget a homlokzati falaknál, a befektetett költségeket és a megoldások fenntarthatóságát.

Kulcsszavak: szálerősítésű polimerek, energiahatékonyság, pontszerű hőhidak, monolit szendvicsfal, hővezetési tényező

1. BEVEZETŐ

A szálerősítésű polimerek (FRP – Fibre Reinforced Polymer) építőmérnöki alkalmazása jelentős mértékben felgyorsult az elmúlt időszakban. A kedvező anyagtulajdonságainak, illetve a fokozatosan csökkenő előállítási költségeinek köszönhetően, a szálerősítésű műanyagok ígéretes megoldást nyújthatnak a hagyományos építőanyagokkal szemben [1].

Az EU építőipari ágazata a legnagyobb energiafogyasztó Európában, amely a végsőenergia-felhasználás 40 százalékáért felelős. Az Európai Bizottság adatai szerint az épületek mintegy 75%-a nem energiahatékony, ennek tükrében az energiaszükséglet csökkentése, illetve az épületek energiahatékonyságának növelése az EU hosszú távú céljai közé tartozik [2]. A tagállamoknak arra kell törekedniük, hogy az új épületek teljesítsék az energiahatékonyságra vonatkozóan meghatározott minimumkövetelményeket és valamennyi létesítmény közel nulla energiaigényű legyen. Több figyelmet fordítva az építőanyagok hőtechnikai tulajdonságaira és a hőhídmentes szerkezet kialakítására már a tervezési folyamatnál, jelentősen csökkenthető a hővesztés a térelhatároló szerkezeteknél, növelve ezáltal az épületek energiatakarékosságát.

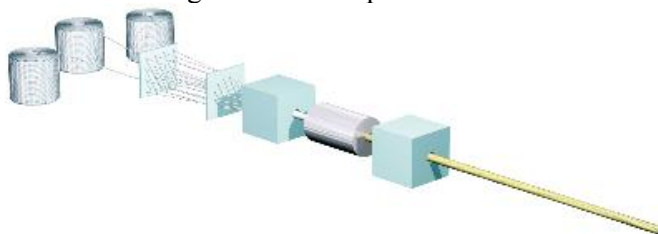
A Makovecz Imre által tervezett temesvári Új Ezredév Református Központ megvalósítása során fontos tényező volt az épületszárnyak fenntarthatósága. Szem előtt tartva az organikus építészet részleteit, az eredeti koncepció megőrzését, illetve a szabványok és előírások által meghatározott követelményeket úgy szerkezeti, mint energiahatékonyság szempontjából, új technológia megoldások és korszerű anyagok beépítése nélkül nem lehetett volna megfelelni a kihívásoknak. Alkalmazva az

energiahatékony épületek irányelveit [3], miszerint a falak és a nyílászárók az előírásoknak megfelelő hőátbocsátási tényezővel rendelkeznek, kiváló hőszigetelési tulajdonságú anyagokat használva, illetve figyelmet fordítva a szerkezetek hőhidmentes és légtömör kialakítására, az üvegszál erősítésű polimer betétek, mint csatlakozóelemek, előnyös megoldásnak bizonyulhatnak a külső homlokzati vasbeton szendvicsfalaknál.

2. ÜVEGSZÁL ERŐSÍTÉSŰ POLIMER BETÉTEK

Az üvegszál erősítésű polimer (GFRP) betétek több tízezer darab 8-14 μm átmérőjű, párhuzamosan futó, nagy szilárdságú szálból és azokat összefogó ágyazóanyagból állnak. Legfontosabb tulajdonságai az acéllal szemben a következők: kedvező húzószilárdság – önsúly arány; kiváló ellenállás a korrózióval és kiemelkedő tartósság a környezeti hatásokkal szemben; nem mágnesezhető; alacsony hőtágulás és hővezető képesség; könnyű és gyors beépíthetőség [4].

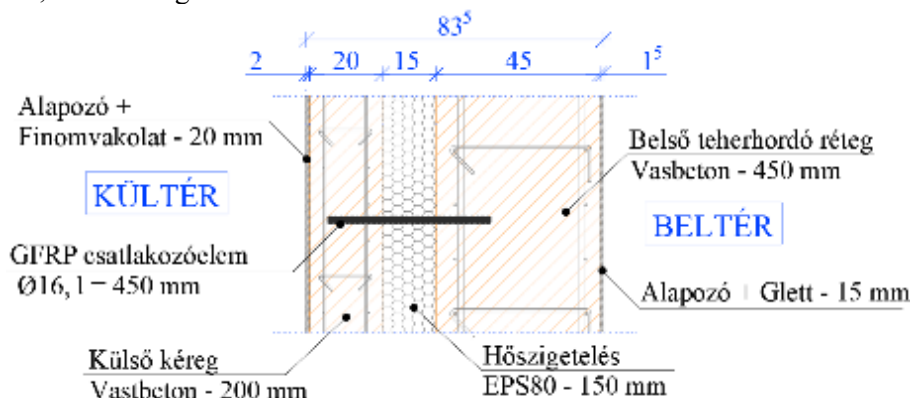
A homlokzati vasbeton szendvicsfalaknál használt Combar FRP betétet (1. ábra) a németországi Schöck Bauteile GmbH [5] cégcsoport forgalmazza, amely innovatív épületkomponenseket és rendszereket fejleszt és gyárt beton- és falazott szerkezetekhez. Romániában ez elsők között voltak alkalmazva monolit felszerkezeteknél üvegszál erősítésű polimer betétek.



1. ábra
Combar GFRP betét

A Combar GFRP betét fő alkotó eleme az E-CR típusú üvegszál, amely meghatározza az elem közel 70 %-át. Vegyi összetételét tekintve a legfontosabb alkotóelemei a SiO_2 – Al_2O_3 – CaO – MgO és ötvözi az általánosan használt kiváló elektromos ellenállással és hővezetési tényezővel rendelkező E típusú üveget a korrózióállósággal [6]. A második összetevő a vinilészter gyanta, amely összefogja a szálkötegeket, védi a szálakat a külső környezeti és fizikai behatásoktól, illetve biztosítja a terhelés eloszlását a keresztmetszet mentén. Ez a típusú gyanta a hőre keményedő mátrixanyagok csoportjába tartozik, az epoxi és a poliészter gyanta párosítása, kiváló korrózióállóságot biztosít a vegyi és lúgos környezetekben, magas a húzó- és nyomószilárdsága, alacsony hővezetési tényezővel rendelkezik és erős adhéziós kapcsolatot hoz létre az üvegszálakkal. A Combar betétek szálirányú hővezetési tényezője $0,7 \text{ W/mK}$, a húzószilárdsága $1000 - 1250 \text{ N/mm}^2$ között változik, a rugalmassági modulus 60000 N/mm^2 , míg a szakítónyúlásuk $7,4 \%$ körüli értéket vehet fel [7].

A homlokzati térelhatároló szerkezetet egy monolit vasbeton szendvicsfal alkotja (2. ábra) és a következő rétegekből tevődik össze: belső teherhordó réteg – 450 mm vasbeton, hőszigetelés – 150 mm polisztirol, külső kéreg – 200 mm vasbeton.



2. ábra
A vasbeton szendvicsfal függőleges metszete

3. ENERGIAHATÉKONYSÁG – HŐTECHNIKAI SZÁMÍTÁSOK

A térelhatároló szerkezetek energiahatékonyágát a hőszigetelési képessége határozza meg, más szóval a hővezetési ellenállás. A homogén és inhomogén rétegeket tartalmazó épületszerkezetek eredő hővezetési ellenállását R , az alábbi képlet alapján lehet meghatározni [8]:

$$R = R_{si} + \sum \frac{d_j}{\lambda_j} + R_{se} \left[\frac{m^2 \cdot K}{W} \right] \quad (1)$$

ahol, R_{si} – a belső felület hőátadási ellenállása [$m^2 \cdot K/W$], d_j – az anyagréteg vastagsága az épületelemben [m], λ_j – az anyag tervezési hővezetési tényezője [$W/m \cdot K$] és R_{se} – a külső felület hőátadási ellenállása [$m^2 \cdot K/W$].

A polisztirol lemezeken átfűrődő összekötő elemek által pontszerű hőhidak alakulnak ki, így a hőszigetelés kezdeti hővezetési tényezőjét az egyenértékű hővezetési tényezővel helyettesíthetjük λ_{ech} :

$$\lambda_{ech} = \lambda + d \cdot n \cdot \chi \left[\frac{W}{m \cdot K} \right] \quad (2)$$

ahol λ – a hőszigetelő elem hővezetési tényezője [W/mK], d – a hőszigetelés vastagsága [m], n – a kapcsolóelemek száma egy négyzetméternyi felületre [m^{-2}] és χ – az átszúrt zónákban kialakult pontszerű hőátbocsátási tényező [W/K].

A hőhidak a határolószerkezetek azon területeit képezik, ahol a hőáramlás jelentősen magasabb a szerkezet többi felületéhez képest, befolyásolva ezáltal a hőmérsékletelosztást és az épület energiaveszteségét [9]. A vasbeton szendvicsfalak esetében pontszerű hőhidak alakulnak ki a hőszigetelésben, ahol a csatlakozóelemek merőlegesek a réteg külső és belső felületére és azon teljes magasságában áthatolnak. Az így keletkezett hőáramlások a pontszerű hővezetési tényezővel határozhatók meg:

$$\chi = \frac{\Phi}{\Delta T} - \frac{A}{R} \left[\frac{W}{K} \right] \quad (3)$$

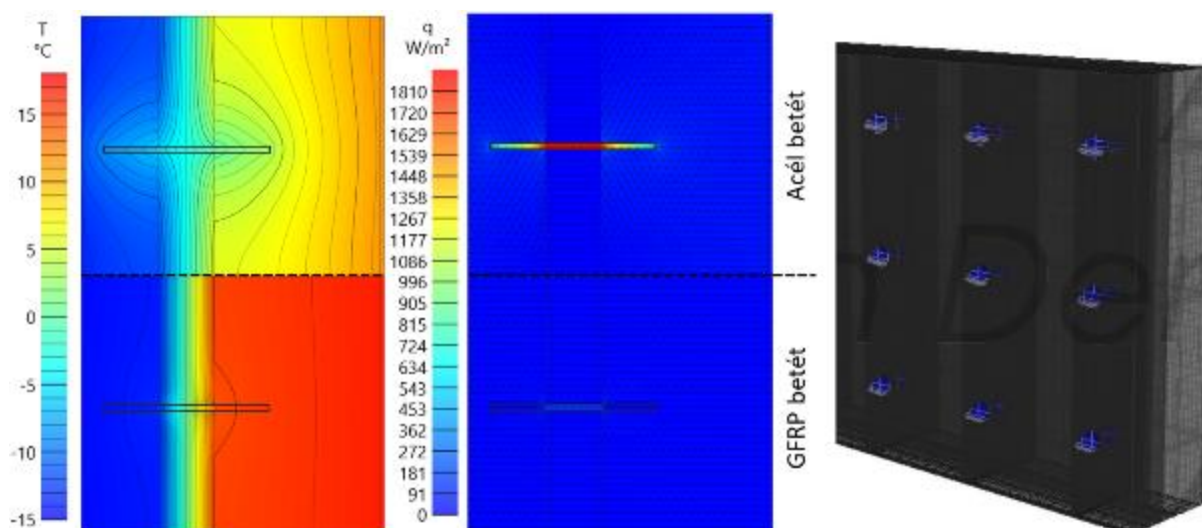
ahol Φ – hőáram a 3D-s termikus analízisből [W], ΔT – a külső és a belső réteg közötti hőmérsékletkülönbség [K], A – 3 dimenziós modellezés által meghatározott felület [m^2], R – a szerkezet hővezetési ellenállása [$m^2 \cdot K/W$].

3.1. GFRP kapcsolóelemek és acél betétek hőtechnikai összehasonlítása

Annak érdekében, hogy az üvegszál erősítésű polimer kapcsolóelemek használata bizonyosságot nyerjen szükséges egy összehasonlítási tanulmány a hagyományos acél betétekkel szemben, amelyben az elemek hőtechnikai viselkedése kerül elemzés alá különböző átmérőket használva, numerikus számítások és hőhídszimulációs szoftverek segítségével.

A vasbeton szendvicsfal termikus modellezése során a forgalmazók, illetve az aktuális szabványok által meghatározott anyagtulajdonságok értékei kerültek bevitelre, így a vasbeton hővezetése tényezője $2,03 W/mK$, a hőszigeteléshez használt polisztirol lemezek λ értéke $0,035 W/mK$. Az acél esetén ez az érték $50 W/mK$ ami az üvegszál erősítésű betét viszonyítva, melynek hővezetési együtthatója csupán $0,7 W/mK$, jelentősen hátrányos tulajdonságot biztosít hőtechnikai szempontból. Az alkalmazott betétek átmérőjének és anyagtípusának változtatásával, a csatlakozóelemek darabszáma egy négyzetméternyi felületre szintén változik, amely a statikai számítások alapján egy darab kompozit betétet határoz meg egy m^2 falszerkezetbe.

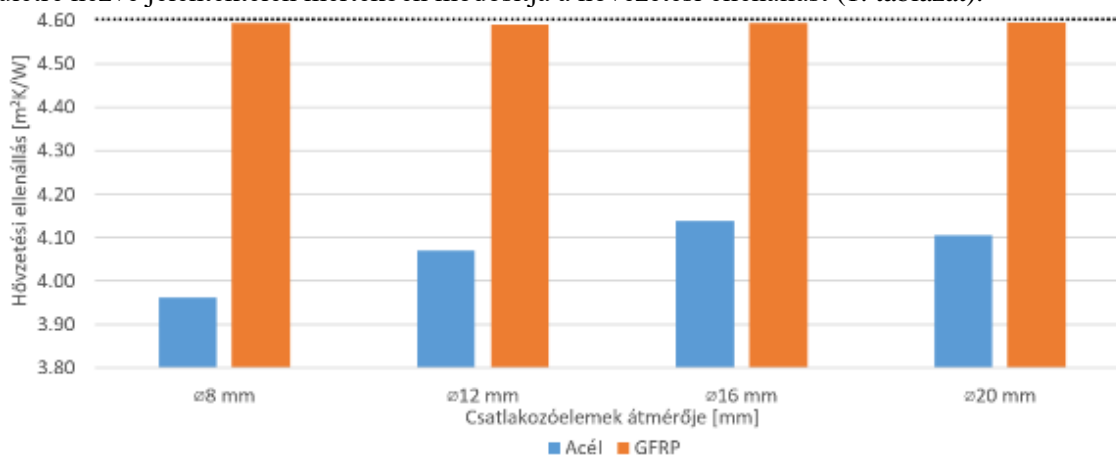
A homlokzati fal 2- és 3 dimenziós modellezése során megfigyelhető, hogy a $\phi 16$ -os átmérőjű acélbetétekben az egységnyi felületre eső hőáram $q_{acél} = 1980 W/m^2$, míg a fal többi részén ez az érték csupán $40 W/m^2$. Üvegszál erősítésű polimer betéteket alkalmazva a hőáram jelentősen redukálódik, az így kapott érték az acél betét töredékét teszi ki $q_{GFRP} = 123 W/m^2$ (3. ábra), megszüntetve ezáltal a hőveszteséget a kapcsolóelemek és a hőszigetelés szintjén, illetve elenyésző szinten befolyásolva a hőmérsékleteloszlást a falszerkezetben.



3. ábra

A hőmérséklet- és hőárameloszlás a két típusú csatlakozóelem esetén

Meghatározva a két típusú betét hőáramlását különböző átmérőkre, a kapott pontszerű hőátbocsátási tényezők az acél esetében 0,0041 – 0,0154 [W/K] közötti értékeket vesznek fel, megnövelve ezáltal a hőszigetelés kezdeti hővezetési tényezőjét és csökkentve a falszerkezet hővezetési ellenállását, melynek a kezdeti értéke 4,60 [m²K/W] volt (4. ábra). Az üvegszál erősítésű elemek esetén a pontszerű hőátbocsátási tényezők értéke 0,0001 – 0,001 [W/K], amely az egész felületre nézve jelentéktelen mértékben módosítja a hővezetési ellenállást (1. táblázat).



4. ábra

Hővezetési ellenállás változása különböző átmérők esetén

A szendvicsfal hővezetési ellenállásai különböző átmérők esetén

1. táblázat

Csatlakozóelem típus	Átmérő [mm]	Elemek száma [m ⁻²]	Egységnyi felületre eső hőáram, q [W/m ²]	Pontszerű hőátbocsátási tényező, χ [W/K]	Egyenértékű hővezetési tényező, λ_{ech} [W/mK]	Hővezetési ellenállás, R [m ² K/W]
Acél betétek	ø8	10	2717	0,00413	0,04119	3,962
	ø12	4,5	2176	0,00743	0,04001	4,069
	ø16	2,5	1890	0,01146	0,03930	4,137
	ø20	2	1632	0,01546	0,03964	4,105
GFRP betétek	ø8	4	131	0,00019	0,03511	4,592
	ø12	2	125	0,00040	0,03512	4,591
	ø16	1	123	0,00070	0,03510	4,593
	ø20	0,6	119	0,00105	0,03509	4,594

3.2. GFRP kapcsolóelemek és acél betétek fenntarthatósága és költséghatékonysága

Az általánosan használt acél betétekhez viszonyítva az üvegszál erősítésű polimer elemek hátránya a magasabb anyagár, arányokban tekintve ez a különbség a hagyományos betonacél ötszöröse. Amíg az S500-as minőségű, 16 mm-es átmérőjű betétek folyóméternyi ára 5,70 RON, addig a GFRP betétek ára 28,70 RON. A szerkezet egészét tekintve viszont a kompozit anyagok előnyös tulajdonságainak köszönhetően ez a különbség arányaiban csökken, mivel nagyobb húzó- és nyomószilárdsággal rendelkezik, illetve nem korrodál.

A GFRP betétek teherbírása az S500-as acél több mint kétszerese, így a vasbeton szendvicsfalakban az üvegszál erősítésű betéteket alkalmazva arányosan csökken a rögzítendő kapcsolóelemek száma, illetve a pontokban való átfúródások által keletkezett pontszerű hőhidak kialakulása is. Anyaghasználat tekintetében, tehát a csatlakozóelemek költsége egy négyzetméternyi felületre 6,40 RON az acélnál és 12,90 RON az üvegszál erősítésű betétek esetében. A kompozit kapcsolóelemek általi 6,50 RON/m² többletköltség elenyészőnek tekinthető a teljes térelhatároló szerkezet anyagi befektetését nézve.

Az acélnál tapasztalható korróziós károsodások következtében csökken a vasbeton szerkezetek élettartama és nő a fenntartási költségük. Az acélbetéteket alkalmazva a hőszigetelésben kialakulnak a pontszerű hőhidak, fokozva ezáltal a hőmérsékleteloszlást és harmatpont elérését a hőszigetelésben, amely idővel a korrózió kialakulásához vezet.

Ezen károsodás megelőzésére az üvegszál erősítésű polimer anyagok kiváló ellenállást biztosítanak, köszönhetően a kis hővezető képességüknek és a kiemelkedő tartósságuknak a környezeti hatásokkal szemben.

4. GFRP BETÉTEK BEÉPÍTÉSE A VASBETON SZENDVICSFALAKBA

A belső monolit vasbeton diafragma kivitelezése után a következő végrehajtási szakasz az EPS polisztirol lemezek felhelyezése poliuretán ragasztóval a teherhordozó rétegre. Mivel a PU ragasztó alkalmazása kevésbé időigényes és egyszerűbb kivitelezési folyamatot eredményes, hatékonyabb megoldásnak bizonyul, mint a hagyományos cementbázisú ragasztóanyagok használata.

A hőszigetelő réteg beépítését követi az üvegszál erősítésű kapcsolóelemek kitévése és rögzítése a belső vasbeton héjba. Tekintettel arra, hogy a kivitelezés helyszíni, monolit szerkezetépítési technológiával valósul meg, az előregyártott vasbeton panelekkel szemben, ahol a csatlakozóelemeket egyidejűleg építik be a betonöntése fázisban, ebben az esetben a betéteket csak utólagosan lehetséges beragasztani. A kompozit szálakat injektálható epoxi habarccsal rögzítik a vasbeton falba, amely a következő lépésekből áll: lyukak fúrása a lehorgonyzási mélységekbe megfelelő átmérőre, lyukak megtisztítása sűrített levegős kompresszorral, illetve hengeres kefével, epoxi habarcs injektálása a lyuk belsőjétől kezdve és a betétek behelyezése csavaró mozgással.



5. ábra

A hőszigetelés és a csatlakozóelemek beépítése

Annak érdekében, hogy a kivitelező megbizonyosodjon a beragasztott elemek megfelelőségéről, helyszíni próbaterhelést eszközölnek néhány pontban. A beragasztott betétek teherbírásának hitelesítését követően folytatódhat a külső vasbeton kéreg megvalósítása, mégpedig a diafragma vasalása, zsaluzása és betonozása.



6. ábra

Helyszíni próbaterhelés, vasalási és zsaluzási munkák

5. KONKLÚZIÓK

A vasbeton szendvicsfalak hőtechnikai elemzése alapján megállapítható, hogy az üvegszál erősítésű polimer (GFRP) csatlakozóelemek jelentősen redukálják a pont szerű hőhidak kialakulását, megtartva ezáltal a falszerkezet kezdeti hővezetési ellenállását. GFRP betétek alkalmazásával 94 %-ban csökkennek a pontszerű hőáramlások a hőszigetelésben, a hővezetési tényező így változatlan marad, míg az acélbetétek esetén ez az érték 10 %-al csökken, növelve ezáltal a hővesztéséget a térelválasztó szerkezetben.

Költséghatékonysági és fenntarthatósági szempontból nézve a kompozit betétek magas anyagára kompenzálódik a mechanikai tulajdonságával, illetve a kémiai ellenállásával, biztosítva ezáltal kevesebb anyaghasználatot, pontszerű hőhidak csökkenését, és a korrózióállóságot.

Az üvegszál erősítésű polimer betétek megfelelő javítást eszközölnek a vasbeton szendvicsfalakban úgy hőtechnikai, mint a fenntarthatóság szempontjából. Több figyelmet ezáltal fektetve a térelhatároló szerkezetek részleteire, korszerű anyagokat használva az épületek energiahatékony és időtálló megvalósítása elérhető célkitűzés lehet.

HIVATKOZÁSOK

- [1] STOIAN, Valeriu, NAGY-GYÖRGY, Tamás, DAN, Daniel, GERGELY, János, DĂESCU, Cosmin 2009: Composite Materials for Constructions, Editura Politehnica, 15 o., Timișoara
- [2] Directive (EU) 2018/2002 of the European Parliament and of the Council of 11 December 2018 amending Directive 2012/27/EU on energy efficiency
- [3] GONZALO, Robert, RAINER, Vallentin 2014: Passive House Design: Planning and design of energy-efficient buildings (DETAIL Green Books), Detail, pp. 11, Munich
- [4] SÓLYOM, Sándor, BALÁZS, György 2015: Szálerősítésű polimer (FRP) betétek –1. Anyagjellemzők, Vasbetonépítés (Concrete structures), Journal of the Hungarian Group of fib, XVII./1, 13-16, Budapest
- [5] www.schoeck.com - Schöck Bauteile GmbH
- [6] WALLENBERGER, Frederick, WATSON, James, LI, Hong 2001: Glass fibers, ASM Handbook - Composites, Vol. 21, ASM International, 27-34, Ohio
- [7] *** Schöck Combar - Design guideline for Combar® reinforced concrete acc. to Eurocode 2 (BS EN 1992-1-1:2004 and NA to BS EN 1992-1-1), Schöck Bauteile GmbH, 2016
- [8] C107-3 / 2005 - Norm for calculation of thermal energy performance of building elements of buildings
- [9] EN ISO 10211:2017 – Thermal bridges in building construction - Heat flows and surface temperatures - Detailed calculations