

A Katalán Boltozat, mint élő szerkezet

TDK 2015

Szerzők:
Hadházi Ágnes
Söjtöry Domonkos

Konzulensek:
Dr. Dobszay Gergely
Dr. Nemes Rita



M Ű E G Y E T E M 1 7 8 2

Tartalomjegyzék

1. A Katalán Boltozat, mint a kutatásunk témája.....	4
1.1. Története	5
1.2. Működése.....	7
1.3. Milyen esetekben és miért ezt a szerkezetet válasszuk?	8
2. A Katalán Boltozat, mint épületszerkezetani elem	11
2.1. A Katalán Boltozat, mint lépcső	11
2.2. Födémek.....	14
2.2.1. A Katalán Boltozat, mint szintközi födém.....	14
2.2.2. A Katalán Boltozat, mint álmennyezet	17
2.3. Tető kialakítások	17
2.3.1. A Katalán Boltozat, mint lapostető	18
2.3.2. A Katalán Boltozat, mint magastető tartószerkezete	19
2.3.3. Katalán boltozat fedés.....	22
2.4. Zöldtető - Dombház	24
3. Összegzés.....	35
4. Irodalomjegyzék	36
5. Ábrajegyzék	37



(1) Alkotóhét keretében épített Katalán lépcső



(2) 2014-es Construmára készült Katalán boltozat mintadarab



(3) 2015-ös Construmára épített Katalán híd

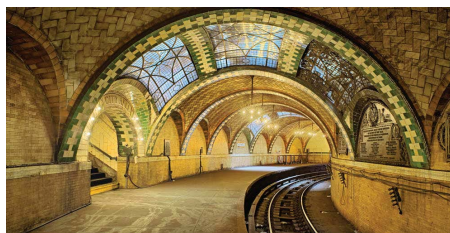
1. A Katalán Boltozat, mint a kutatásunk témája

2014 tavaszán egy katalán lépcső építésekor találkoztunk először ezzel a szerkezettel (1). Ekkor csatlakoztunk ahhoz a csoporthoz, akik hazánkban szeretnék megismertetni ezt a történeti technológiát [01]. A Construmán először egy saját készítésű kisebb boltozat (2), majd egy katalán híd került kiállításra (3). Legutóbb egy borospince álmennyezete épült meg Aranyhegyen. A 2014-es TDK-n már bemutatásra került a Katalán Boltozat története és statikai, szilárdságtani működése [02][03], idén viszont mi egy új oldalról vizsgáltuk a boltozatot, az épületszerkezettani viselkedését tanulmányoztuk.

Kutatásunk során arra kerestük a választ, hogy miként helyettesíthetők a főbb épületszerkezetek Katalán Boltozattal? Hogy állja meg a helyét, hogy viselkedik például lépcsőként, födémként, vagy zöldtetőként? Hogyan tesz eleget napjaink épületfizikai követelményeinek? Milyen anyagokkal, technológiákkal építhető egybe, hogy megfeleljen korunk hő-, csapadék- és hanggátlási előírásainak? Megoldásokat, lehetséges rétegrendeket, csomópontokat találtunk ki. Fontosnak tartottuk, hogy ne csak a végső, általunk leghatékonyabbnak gondolt variációt, hanem a kutatási folyamatunk során felmerülő összes lehetséges, ám akár később elvetett ötletet bemutassuk, amik később a legmegfelelőbb struktúrát eredményezték.

És, hogy miért is foglalkozunk mindezzel? Mert azt gondoljuk, hogy a Katalán Boltozatot Magyarországra is érdemes elhozni. Ebben a szerkezetben számos lehetőség rejlik: nemcsak a teherbírása egyedülálló, hanem megfelelő termékekkel kombinálva a hazai épületeknek is működő szerkezeti eleme lehet. És ennek a kibontakoztatásához elengedhetetlen, hogy ezt a témát épületszerkezettanilag is körüljárjuk, hogy jobban megismerjük a régi és a kortárs példákat és a bennük rejlő technológiai ötleteket, illetve, hogy saját megoldásokat dolgozzunk ki, amik a mi éghajlatunkon is megfelelnek.

Úgy gondoljuk, hogy az épületszerkezettani tanulmányok előtt fontos röviden bemutatni a boltozat történelmi, működési és kivitelezési hátterét, továbbá azt, hogy mikor érdemes ezt a szerkezetet választani és miért. Következő fejezetünk anyagairól bővebben olvashatunk a tavalyi TDK-kban [02][03].

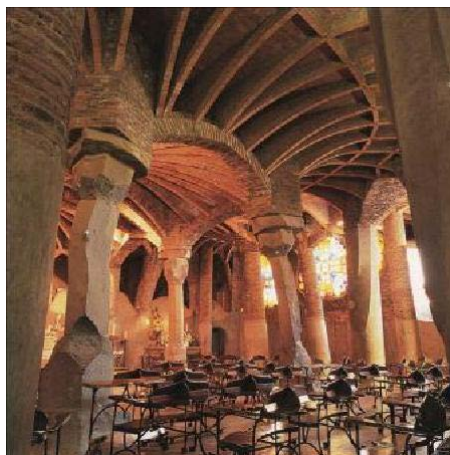


(4) City Hall metróállomás, New York, 1903

1.1. Története

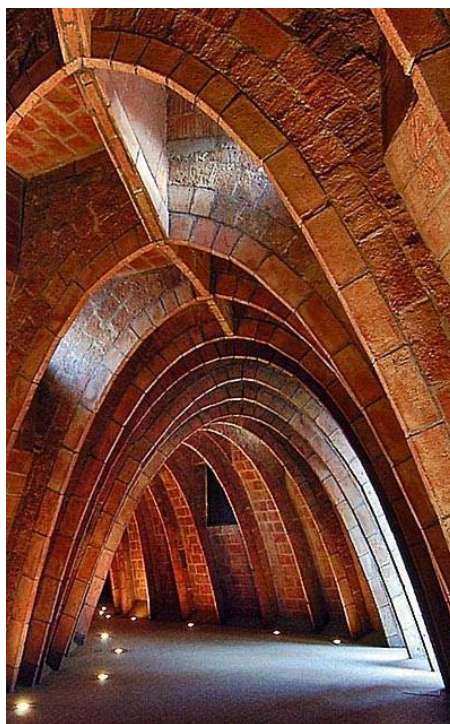
A Katalán Boltozat, mint ahogy neve is utal rá, Spanyolországból származik. A XIV. században használták először, viszont a XIX. századra érte csak el virágkorát. Két jelentős spanyol építész alkalmazta főként munkái során.

Id. Raphael Guastavino először Spanyolországban épített vele, majd Amerikában honosította meg a boltozatot. Sikerét annak köszönheti, hogy az 1871-es chicagói tűzvész után nagy igény mutatkozott tűzálló szerkezetekre. A Katalán Boltozat, azontúl, hogy igen impozáns, terrakotta csempéből készül, teljesen tűzbiztos, így gyorsan népszerűvé vált. Guastavinonak számos irodája nyílt Amerika-szerte, ám jellemzően ő inkább épített, mint tervezett. Lépcsőket, födémeket készített a boltozathoz, elsősorban középületekben. Annyira megszerették, hogy ezt a szerkezetet Amerikában Guastavino-féle boltozatnak nevezték el. Leghíresebb munkái ezzel a technikával Katalóniában a Batló Gyár, a Villasar de Dalt-i La Massa Színház (1880), az Egyesült Államokban pedig a Bostoni Közkönyvtár (1889), a City Hall metróállomás (1903) (4), illetve a 33 m átmérőjű, manhatteni St. John the Divine székesegyház kupolája (1909). Úgy élte meg a Katalán Boltozat építését, mint ha egyfajta szabad formaalkotás lenne [04][05][06][07].



(5) Casa Milà, Barcelóna, 1906

Antoni Gaudí hazájában alkotott vele, elsősorban födémeket és bordákat készített ezzel a kohéziós építésmóddal. Technikájának lényege az volt, hogy kötélgörbéket alkalmazott. Úgy formálta a felületet, hogy a szerkezet alakja a terhelt kötélgörbék inverzét vegye fel, így a terheket nyomás formájában juttatta el az alapo-



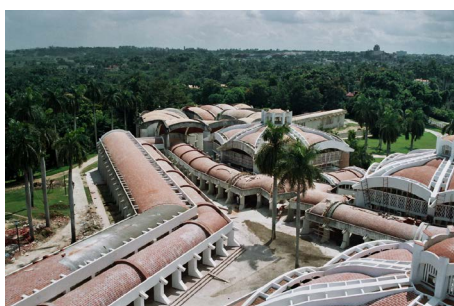
(6) Casa Milà tetőtere



(7) Museo de America kiállítóterme



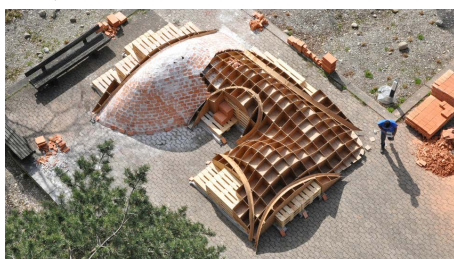
(8) Atlantidá templom belső tere



(9) Kubai Művészeti Iskola épületegyüttese



(10) Pines Calyx rendezvényközpont, Kent, 2005.



(11) Szabadformálású Katalán héjszerkezet építés közben

zásra. Továbbá létrehozta a támívek nélküli gótikát. A Katalán Boltozat feltűnik a Sagrada Familiában (1882), a Güell Palotában (1886), a Colonia Güellben (1893) és a Casa Milában (1906) is (5)(6)[06].

A XX. században is szép példák születtek a Katalán Boltozat felhasználására.

Luis Moya Blanco a téglaboltozatok szakértője, a Katalán Boltozat kutatója volt, leghíresebb épülete ezzel a technikával a madridi Museo de America (7).

Elladio Dieste továbbfejlesztette a Katalán Boltozatot, létrejött a Gauss boltozat. Jellemzője, hogy olyan kétszer görbült boltozat, ami ellenáll a horpadásnak. Legnevezetesebb példája az uruguayi Atlantidá templom (8)[06].

A Kubai Művészeti Iskola épületegyüttesén három építész dolgozott: Ricardo Porro, Vittorio Garatti és Roberto Gottardi. Az épület több stádiumban épülhetett csak meg, sok politikai viszontagságon kellett keresztülmennie, viszont ma is őrzi a Katalán Boltozatos struktúrákat: a gömbkupolákat, a gömbsüvegeket, a dongával fedett folyosókat és átjárókat, illetve a hatalmas csarnokokat ovális kupolákkal (9)[06][08].

A XXI. század bátran kísérletezik a szerkezettel.

USA-ban az MIT-n John Ochsendorf professzorral a diákok az 1:2 arányú, Guastavino-féle Katalán Boltozatot építettek, majd ezt tanulmányozták. Ezt követően az Egyesül Királyságban, Kentben terveztek és kiviteleztek egy rendezvényközpontot (The Pines Calyx, 2005), melyben két, zöldtetős, 20-20 m átmérőjű Katalán Boltozatos kupola és egy katalán lépcső is helyet kapott (10)[04][07][09][10][11][12].

A zürichi ETH építészkarán először számítógéppel (Rhino3d) terveztek meg egy szabadformálású Katalán Boltozat (2012), amelyet papírzszaluzattal készítettek el. Annyira erős lett, hogy még 3 tonna próbaterhelés után sem szakadt le (11).

Az ETH Etiópiában is építkezett, így jött létre a SUDU - Sustainable Urban Dwelling Unit (2010). Jellemzője, hogy ez már egy használatra kész épület,

illetve, hogy helyi anyagokat használtak az építéséhez (12).

A dél-afrikai Peter Rich építésziroda a Mapungubwe látogató központjában (2009) Katalán Boltozatokkal fedte le a kiállítás sétaútvonalát és kihasználva a helyi adottságokat, inkább humán munkaerőt használt az építéshez, mintsem gépeket (14)[09][13].

Richard Hawkes díjnyertes lakóháza (2009) Kentben, napjaink problémáira adott választ. Alacsony energiájú, „0” károsanyag kibocsátású házat épített, megújuló energiaforrásokat felhasználva, extenzív zöldtetővel, Katalán Boltozattal (13)[07][14][15][16][17][18].

1.2. Működése

Statikáját tekintve elmondható, hogy ugyan számítani elég nehéz, de szerencsére ma már korszerű modellező - tervező programok állnak rendelkezésünkre. A szerkezetből oldalnyomás származik, viszont a dinamikus, aszimmetrikus és pontszerű terheket jobban viseli, mint a hagyományos boltozatok, illetve kis mértékben húzást és hajlítást is el tud viselni. Továbbá nagyon erős, nagyon gyorsan terhelhető, építés után már két órával elbírja egy felnőtt férfi súlyát.

A Katalán Boltozat hagyományos építéstechnológia, működésének lényege az öt felépítő vékony téglák erőjátékán alapszik. Tudnunk kell, hogy a boltozatok a boltozási irányukban merevek. Esetünkben az alkotó kerámia csempéket nem a nyomásvonalra merőlegesen – ahogy azt a hagyományos boltozatoknál megszoktuk -, hanem azzal párhuzamosan helyezük el. Általában három réteg csempe már elég a kívánt teherbírás eléréséhez, bár a szerkezet kritikus pontjait olykor megerősítik még egy-két réteggel. A három réteget egymáshoz képest elforgatva helyezük el, így három irányban is merev lesz, végül kialakul a nyomásvonallal párhuzamos stabilitás (15)(16)(19).



(12) ETH SUDU projekt lépcsője



(13) Richard Hawkes díjnyertes lakóháza Kentben



(14) Mapungubwe Látogatóközpont



(15) Boltozatépítés mintaívvel



(16) Három rétegű Katalán Boltozat rétegei



(17) Katalán lépcső mintaíve



(18) Az első réteg gipszes habarccsal készül, hogy gyorsabban megkössön



(19) A második réteg 45°-kal elforgatva kerül a szerkezetre

Nagyon fontos teherbírás szempontjából a téglák közötti kötőanyag, annak kohéziós szilárdsága. Mindig a kor legjobb minőségű habarcsával ragasztották össze a rétegeket és a csempéket. Napjainkban a cementhabarcs, vagy a műgyantával javított ragasztóhabarcs (fagyálló flexibilis csemperagasztó) a legalkalmasabb. Az első réteget gipszes habarccsal szokás elkészíteni, és ha rendelkezésre áll három határfelület, akkor alátámasztás nélkül is elindítható a boltozat (18). Erre azért is van lehetőség, mert a Katalán Boltozat csempéi igen vékonyak (24x12x2 cm) és elég könnyűek. Így a boltív kivételével bármelyik forma megépítéséhez csak mintaívre, vagy lézeres kitűzési pontra van szükség.

1.3. Miért ezt a szerkezetet választjuk?

Elmondható, hogy a Katalán Boltozatot elsősorban íves, szabadon formált felületek építésére szolgál. Sajnos a vasbeton és az előregyártás elterjedése visszaszorította ennek a szerkezetnek a használatát. Valóban, síkfelület építése költségesebb katalán technológiával, mint vasbetonnal, viszont az íves felületek terén jóval költségkímélőbb ez a hagyományos építéstechnológia, mint a vasbeton.

A szabad formálhatóság mellett számos előnye van. Egyrészt vékony (8-10 cm) és könnyű, így kis súlya miatt kisebb támfalakra és kevesebb alapozásra van szükség. Másrészt nagy teherbírása miatt kevés réteg is elég belőle, kevesebb anyagra van szükség, így elég költségkímélő. Tűzbiztos szerkezet, viszont vékonysága miatt az akusztikai követelményeknek leginkább csak úgy tud megfelelni, ha feltöltéssel javítjuk. Kültérben problémás lehet a középső gipszes réteg nedvszívása és felfagyása miatt, viszont ezt fagyálló habarccsal korrigálhatjuk.

Kivitelezési előnyei, hogy a vasbetonnal ellentétben, itt nincs szükség zsaluzatra, csak egy mintaívre, illetve az első, gipszes réteg megépítése után önmaga zsaluzataként is tud viselkedni (17)(20)(21)(22). Élőmunka igénye nagy, előregyártás nem lehetséges, viszont elég

gyorsan építhető. Tartósságát tekintve pedig rendkívül megbízható, például az Ellis Islandi csarnokba beépített körülbelül 27000 csempéből csupán 17-et kellett lecserélni közel 90 év alatt.

Továbbá mindenképpen megemlítendő, hogy a hagyományos, természetbarát építkezésnek köszönhetően, a Katalán Boltozat támogatja a fenntartható fejlődést, csökkentti az ökológiai lábnyomot. Még nem sokan vannak annak a tudásnak a birtokában, hogy hogyan is kell ezt a szerkezetet megépíteni, de megfelelő képzés után, technológiájából kifolyólag, mely a gépesítés helyett az élmunkát igényli, munkahelyeket teremthet [06].

Ilyen sok szép példát és sok jó tulajdonságot látva feltehetjük a kérdést: miért nem terjedt el még jobban ez a szerkezet? És Magyarországra miért nem jutott el eddig? Egyrészt, mint ahogy fent említettük, a vasbetonra nagyobb igény mutatkozott, az előregyártás, gépesítés pedig könnyebben teret tudott hódítani, mint a hagyományos, kézzel épített technológiák. Továbbá inkább az egyenes, derékszögű rendszer volt az aktuális trend, szemben az íves, szabadon formált felületekkel, amelyekben a Katalán Boltozat igazán ki tudott volna bontakozni. Arra a kérdésre pedig, hogy hazánkban miért nem terjedt el ez a szerkezet, a válasz igen egyszerű: elsősorban az éghajlat miatt.

Spanyolország jellemzően a szubtrópusi övezetbe, míg Magyarország a kontinentális/mérsékelt övezetbe tartozik. Ezáltal a Katalán Boltozat hazájában egyrészt az évi átlaghőmérséklet magasabb, másrészt a fagyok sem jellemzőek, tehát nem okozott problémát sem a hőszigetelés, sem a fagy elleni védekezés, így ezekre épületszerkezeti megoldások sem születtek. Magyarországon viszont mindkettőre ügyelnünk kell, tehát hagyományos formájában nálunk nem alkalmazható ez a mediterrán szerkezetet térlefedésként. Viszont a szükséges szigetelőanyagokkal megfelelő rétegrend állítható elő, így hazánkban is építhető lesz ez a kerámia boltozat.



(20) A mintaív mozgó zsaluként működik



(21) Kerámia csempék bent maradó zsaluként a lépcsőfokokhoz

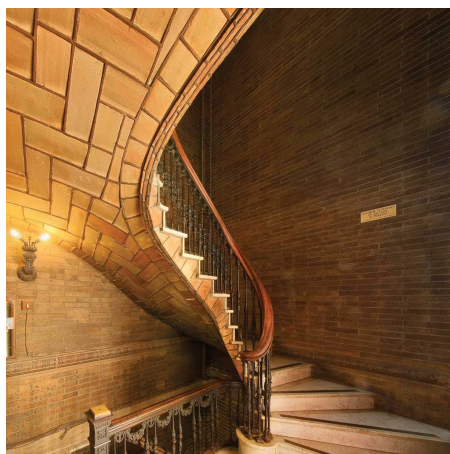


(22) Lépcsőfokok betonnal feltöltve

Többek között ez is az egyik oka annak, hogy ez a kutatás elindult. Szeretnénk, hogy a Katalán Boltozat Magyarországon is építhető legyen. Elindítunk egy gondolkodási folyamatot, megoldásokat keresve azokra a problémákra, amelyek miatt eddig náluk nem találkozhattunk ezzel a csodálatos szerkezettel.

2. A Katalán Boltozat, mint épületszerkeztani elem

Elérkeztünk kutatásunk lényegi részéhez. Ebben a témakörben meglévő és általunk kreált példákon keresztül azt fogjuk megvizsgálni, hogy miként látja el a Katalán Boltozat bizonyos épületszerkeztani elemek szerepét. Hogy felel meg az épületfizikai és technológiai elvárásoknak, milyen anyagokkal és szerkezetekkel kombinálható?



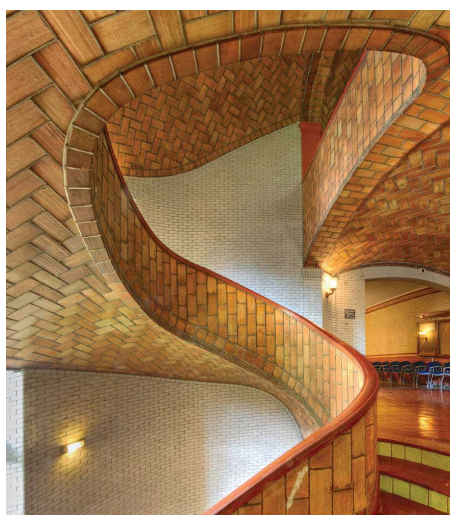
(23) Guastavino Katalán Boltozatú lépcsője

2.1. A Katalán Boltozat, mint lépcső

A következő nagy fejezetünk bemutatja Guastavino világhírű lépcsőit, illetve az azóta megépült jelentősebb katalán lépcsőket, továbbá azt a folyamatot, ahogy mi végigkísérleteztük, melyik forma is lenne még ideális lépcső hordására.

Legrégebbi példáink Raphael Guastavino munkái közül kerültek ki, az Egyesült Államokból:

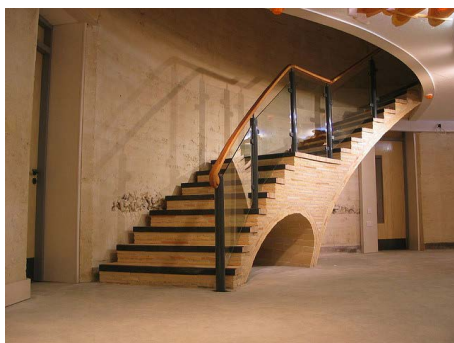
A Carnegie Mellon Egyetem, Baker Hall-jának lépcsője (24), illetve a new yorki Columbia Egyetem, Szent Pál Kápolnájának lépcsője (23). Mindkét lépcső támaszkodik az oldalfalra és a födémlemezre, illetve mindkét lépcső fokai csempetéglákkal és kerámia, illetve márványburkolattal készültek. Maga a lemez az első esetben három réteg vékony csempetéglából készült, alabástromgipsz kötőanyaggal, a második esetben pedig szintén ilyen téglákkal, viszont valószínűleg Portland cementtel épült fel, ez volt Gusatavino kedvelt habarcsa. A pihenő mindkét esetben a boltozat része és érintkezik a fallal, kivéve a második példa azon részét, ahol a lépcső egy ablak előtt halad el, ahol természetesen a pihenő is elválik a faltól. A korlát sem egyforma: a Baker Hallban függőlegesen rakott vékony csempetéglából, a boltozatra építették, míg a Szent Pál Kápolnában szintén a boltozatra építve, de kovácsoltvasból készült [04][05][06][07].



(24) Guastavino Katalán Boltozatú lépcsője



(25) Parabola szerkesztésű Katalán lépcső



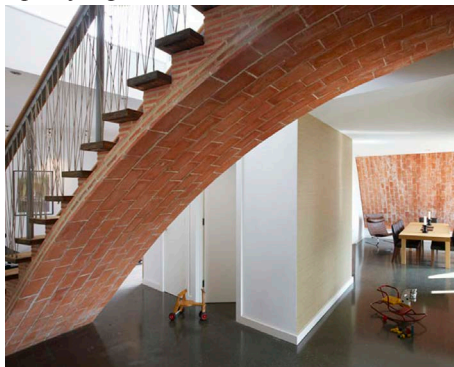
(26) Pines Calyx rendezvényközpont lépcsője



(27) Pines Calyx rendezvényközpont lépcsőjének részlete



(28) Richard Hawkes kent-i lakóházának lépcsője építés közben



(29) Richard Hawkes lakóházának lépcsője

A következő katalán lépcső az Escaleras Boveda Valenciában. Érdekessége, hogy három katalán ív ül fel egymásra, háromkarú lépcsőt alkotva, pihenőkkel. Az ívek két irányban görbültek, mindkét metszetük parabola, így statikailag helyesebb kialakításúak, nagyobb a teherbírásuk, mintha csak egy irányban görbülne, viszont geometriájuk bonyolult. Alsó támaszuk általában egy másik ív, míg a felső a szemközti fal. A boltozatok két-két réteg csempéből épülnek fel (25)[02][19][20].

A következő példa Kentben, a már említett Pines Calyx rendezvényközpontban található.

A lépcsőkarokat két hattyúnyak formájú donga tartja, amelyek egy irányban görbültek (26). Ez a megoldás egyszerűbb, könnyebben építhetőbb, mintha mindkét irányban görbülne a szerkezet, viszont ez esetben a lépcső teherbírása kisebb. A boltozatot három réteg vékony csempetégla és a kötőanyag alkotja, míg a fokok szintén ezekből a csempékből készültek, faburkolattal (27). A pihenő az első kis ívre támaszkodik, míg az egész lépcsőkar a födémlemezre terhel, elhúzva az oldalfaltól. A korlát a lépcsőfokokba van befogatva, acél oszlopokkal, üveg betéttel, fa szegéllyel készült [04][07][09][10][11][12].

Richard Hawkes kent-i lakóházában a lépcső szintén el van húzva a faltól, a födémlemezre támaszkodik. Kisebb magasságot hidal át, így pihenője nincs (28). Ebben az esetben a lemez három réteg vékony csempetégglából készült, alabástromgipsz kötőanyaggal. A lépcsőfokok pedig hasonlóan, öt réteg vékony csempetégglából, alabástromgipsz kötőanyaggal, faburkolattal épültek (30). A korlát acéloszlopokból és acélhuzalokból áll, fa fogódzóval (29)[07][14][15][16][17][18].

Utolsó külföldi példánk egy svájci cég, a Pittet Artisans munkája. Nagyon izgalmas teret hoztak létre, ugyanis a katalán lépcsőjük „átfolyik” a födémbe, ami szintén Katalán Boltozatos. A lemez két réteg csempé-

ből áll, a fokok pedig betonból készültek, finombeton burkolattal (31)(32)[21].

Egy hazai, a csapatunk által épített példát is bemutatnánk. Az Alkotóhéten, az Egyetemi Katolikus Gimnázium udvarán építettünk egy katalán lépcsőt (33). Mivel hazánkban akkor még nem gyártottak katalán boltozásra használatos vékony csempéket, ezért Creaton hódfarkú tetőcserepeket használtunk a boltozat és a fokok elkészítéséhez, levágva a cserepek kiugró darabjait. Mindössze egy ívből áll a tartószerkezet, amit a három réteg kerámia cserép és a köztük lévő kötőanyag alkot. A középső réteggel kezdtük a boltozást, ezt még gipszes habarccsal ragasztva, hogy hamar kössön, majd alura és felülre is építettünk egy-egy réteget, de ezeket már fagyálló flexibilis csemperagasztóval rögzítettük. Az ív betonalapozásból indul, és a felső vége enyhén beleül a szemközti kőfalba, oldalt nincs befogva. A kívánt forma eléréséhez zsalura nem volt szükség, egy mintaívét használtunk, amit az oldalfaltól indulva mindig arrébb és arrébb helyeztünk, de ennek csupán annyi volt a szerepe, hogy a megfelelő ívet tartsuk. A három, egymáshoz képest elforgatott réteg után a cserepekből felépítettük a fokok oldalait. Az így létrejövő kereteket pedig betonnal töltöttük ki, később pedig szintén cseréppel burkoltuk a fokokat. Lépcsőnk bámulatos teherbírásról tett tanúságot, négy napig tartott az építkezés, másfél nappal az ív megépítése után már elbírt a beton lépcsőfokokat, utolsó nap pedig már mind a hatunkat elbírt egyszerre [01].

Mi is próbáltunk kitalálni egy ideális lépcsőformát Katalán Boltozatra (34).

Megállapítható, hogy a kar formája lehet egyenes és íves is, viszont az íves praktikusabb, mert jobban merevíti a szerkezetet (35). Az első variáció ugyan egy nagy, íves felületet formál, de problémás, mert a lemez, tehát az ív nem parabolikus, viszont, ahogy Gaudí kötélgörbéje is mutatja, a Katalán Boltozáshoz szükséges egy



(30) Részlet Richard Hawkes lépcsőjéről



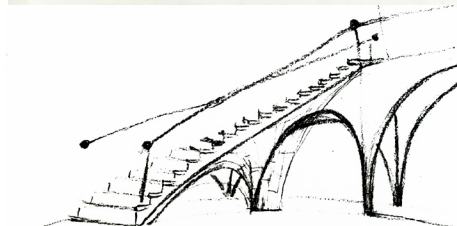
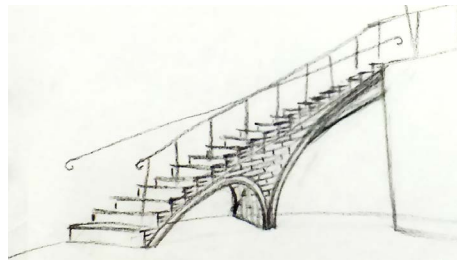
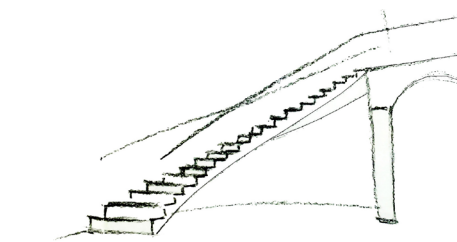
(31) Pittet Artisans fődémmel „egybefolyó” lépcsője kivitelezés közben



(32) Pittet Artisans fődémmel „egybefolyó” lépcsője kivitelezés közben



(33) Általunk épített Katalán Boltozatos lépcső

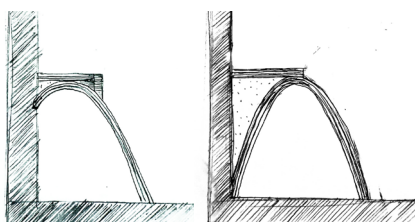


(34) Lépcső koncepciók

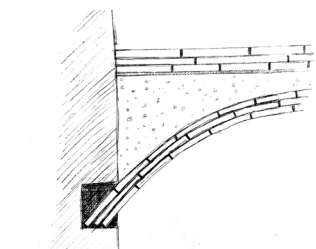


(35) Lépcső koncepció - felülnézet

(36) Lépcső koncepció - metszet



(37) Lépcső gyámoltás koncepciók



(38) Lépcső - fal csatlakozás

parabola keresztmetszet létrehozása.

A következő példa hattyúnyak íveket formál, viszont nem túl gazdaságos a két ív közötti feltöltés miatt. Olyan lépcső lenne a megfelelő, ahol nincs szükség ennyi feltöltésre.

A következő ív letámasztásai túl vaskosak, a Katalán Boltozattal egy sokkal filigránabb formát is meg lehetne alkotni.

Ez a példa az előző feltételeknek megfelel: parabola keresztmetszetű ívei vannak, könnyed formái és feltöltésből sem kell olyan sok. De ahogy megnézzük a kar és a fokok keresztmetszetét, egy még jobb változatot hozhatunk létre. Míg az első esetben a fokok széle túlnyúlik a parabola csúcsán, addig az utóbbinál pont a csúcspontig tart. Viszont ennél van egy lépéssel még jobb, még kevesebb feltöltést igénylő lehetőség, mikor a boltozat keresztmetszete úgy néz ki, hogy az ív egyik fele feltámaszkodik az oldalfalra (37)(38).

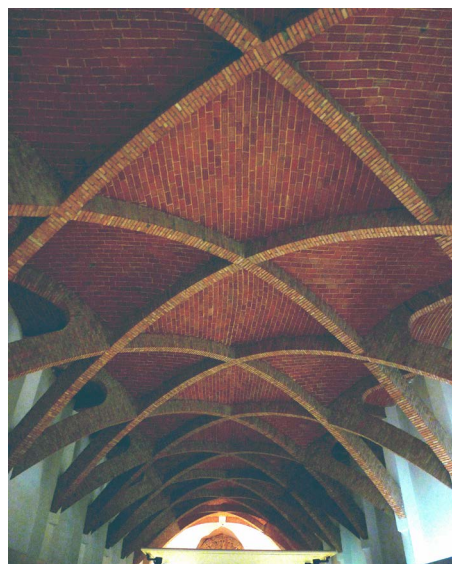
Természetesen ahhoz, hogy a szabvány karszélességet megkapjuk, szélesebb ívre van szükség. Viszont az első esetben a túlnyúló fokok alatt szükség van plusz-feltöltésre és oldalfalazásra, amikkel a második esetben nem kell számoljunk. A szélesebb boltozat építése költség-hatékonyabb, mint a feltöltés és az oldalburkolat, így ez a megoldás még kedvezőbb. Nem utolsó sorban ez a végleges forma a legszebb, itt jobban kihangsúlyozódnak a Katalán Boltozat finom vonalai (36).

2.2. Födémek

2.2.1. A Katalán Boltozat, mint szintközi födém

Ebben a fejezetben azt vizsgáljuk meg, hogy hogy viselkedik a Katalán Boltozat a házon belül. Hogy teljesíti a hőszigetelési, vízszigetelési, hangszigetelési követelményeket, hogy viseli a rá eső terheket?

Egy külföldi példa arra az esetre mikor a Katalán Boltozat szintközi födémként viselkedik, a Bóveda Museo de América Madridban, tervezői Luis Moya és Luis Martínez Feduchi. Az egyik kiállítási tér tetejét fedték le Katalán Boltozattal, téglából falazott ívekkel merítve a szerkezetet. Viszont nem az egész helyiséget fedi le egy boltozat, észrevehetjük, hogy az ívek közötti felületeken különböző irányban állnak a téglák, így valószínűleg több kis boltozatdarabból áll össze a födém (39). A helyiség fala vályogból készült, a boltozat pedig dupla kerámia tetőcserepekből. Ezek fölött föld, vagy törmelék feltöltés van, amit pedig esztrich padló burkol az emeleten (40)[03].

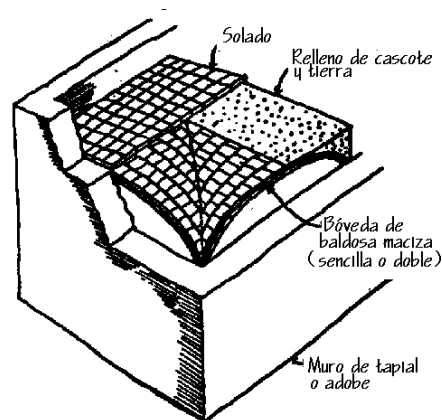


(39) Museo de America Katalán Boltozatú födeme

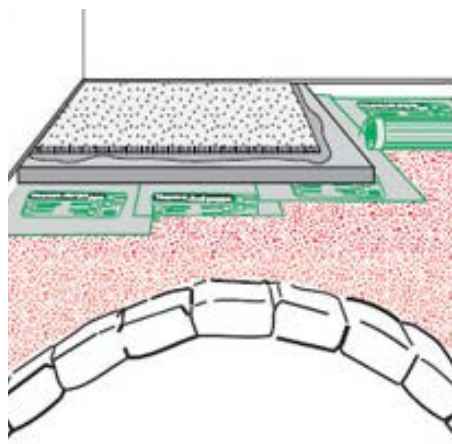
Fontos tudni, hogy Katalán Boltozatú födémeket nem tanácsos pontszerűen, közvetlenül terhelni. Ezért ha szintközi födémként alkalmazzuk őket, az emeleti válaszfalak kétféleképpen lehetnek. Az egyik lehetőség, hogy falazottak, viszont akkor közvetlenül a földszintiek fölött kéne elhelyezkedjenek és nem terhelhetnek a boltozatra. A másik megoldás pedig, ha gipszkarton válaszfalakat alkalmazunk, ami bárhol lehet a födemen, a Katalán Boltozat könnyen el fogja őket bírni.

Ahhoz, hogy a boltozat íves felületét vízszintesbe hozzuk, szükségünk lesz valamiféle feltöltésre, amiben a gépészeti csöveket is el lehet helyezni. A födémnek azon részei alkalmasak erre a feladatra, ahol az ív lejtésben a falakhoz csatlakozik, mert itt magasabb a feltöltés, jobban elférnek a csövek. A perlitet találtuk a legalkalmasabb anyagnak, melynek felhasználásához több termékcsalád is rendelkezésünkre áll, mint például az Europerl [22][23][24].

Ezen rendszerek kiválóan alkalmasak boltívek fölé, mert azon kívül, hogy kiegyenlíthetjük velük az görbült felületeket, az igényeknek megfelelően hőszigetelő, hangszigetelő, vagy akár tűzgátló rétegeket is kialakíthatunk. Továbbá kis tömegüknek köszönhetően nem terhelik meg túlságosan a boltozatot (41).



(40) Luis Moya Blanco rajza Katalán Boltozat födém rétegről



(41) Boltíves födém és feltöltés – Europerl

Ezekkel az anyagokkal egy lehetséges rétegrend:

- Katalán Boltozat
- perlitfeltöltés
- szárazesztrich
- burkolat (szőnyeg, parketta, járólapp, stb.)

Fa padlóburkolat esetében a rétegrend a következő:

- Katalán Boltozat
- perlitfeltöltés (bármilyen vastagságban, hangszigetelve, egyenletesen kell lezárni; benne elhelyezve a szükséges kábeleket és csöveket)
- fedő lemez
- párnafák (pontoszerű ragasztással kell rögzíteni)
- perlitkitöltés (a párnafák között a hő- és hangszigetelés érdekében)
- hajópadló

Nedves helyiségeknél a lehetséges rétegrend:

- Katalán Boltozat (benne kábelek és a vízvezeték csövei)
- perlitfeltöltés
- fedő lemez
- két rétegű gipsz elem (a nedvességre kisebb mértékben érzékeny és problémamentesebb)
- műanyag szigetelés esetén: alátétréteg – szigetelés - szivárgó, védőréteg
- kent, öntött szigetelés esetén: alapozás - két réteg szigetelés
- burkolat (csempe, járólapp)

Padlófűtés esetén a rétegrend a következő lehet:

- Katalán Boltozat
- perlitfeltöltés (a padlófűtés csövei és kábeli kiegészítő köpenyszigetelés nélkül is teljesen beleágyazhatók a szigetelésbe)
- cement esztrich
- burkolat (szőnyeg, parketta, csempe, stb.)

A padlófűtéses esztrichек esetében elmaradhat az egyébként szokásos, páralecsapódás ellen védő fólia. Főlegessé válik a homokfeltöltés, ami máskor a szigetelőtáblák fektetésekor szükséges szokott lenni, továbbá egyszerű a beépítés és az esztrich egyenletes rétegvastagsága miatt szilárd, sík, biztonságos alapfelületet kapunk.

2.2.2. A Katalán Boltozat, mint álmennyezet

Ezt a lehetőséget egy különleges boltozaton keresztül mutatjuk be, ez az egyik első megépült hazai Katalán Boltozat. Aranyhegyen található, egy borospince álmennyezete. Építése nem volt túl bonyolult, mert egyrészt komoly statikai számításokra sem volt szükség, csak egy meghatározott mintaívre, másrészt nem kellett komoly rétegrendet kitalálni, hisz a boltozat itt csak álmennyezet (42).

Rétegrendje a következő:

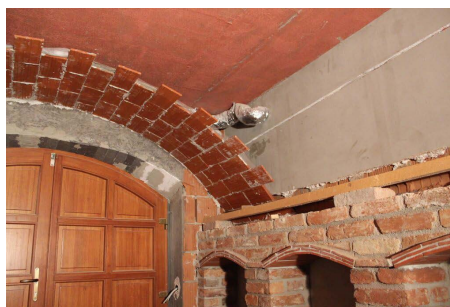
- két réteg kerámia csempe, fél méterenként, plusz egy réteg felső, merevítő bordával
- habarcssimítás üvegszövet háló erősítéssel

A felső, vízszintesen rakott csempékkel kezdték a boltozást, a ház oldalfalaiból indítva. Majd párhuzamosan haladva, megépítették a felettük lévő, merevítő, függőlegesen rakott bordákat és a belső, halszáлка mintában elhelyezett, mennyezeti burkolatként is létrejövő harmadik réteget (44). A mintaívet a két oldalt végigfutó előtétfalakra támasztották és ezen végigvezetve biztosították a kívánt formát, a megfelelő csempe minta eléréséhez pedig lézeres kitűzőt használtak.

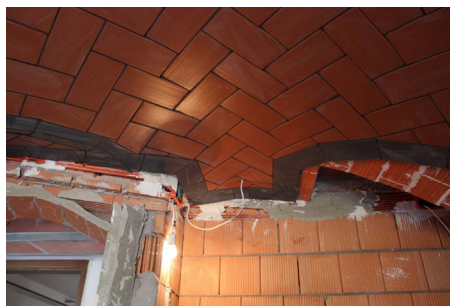
A katalán álmennyezet fölött elfér a gépészet, illetve a villanyvezetékek bevezetésére vágott csempéket alkalmaztak (45). Egy apró érdekesség, hogy az előtétfalakban elhelyezett, polcok kialakítására tervezett bemélyedések felső lezárására három réteg, ívesen rakott



(42) Aranyhegyi borospince álmennyezetének mintaíve



(43) Aranyhegyi borospince álmennyezete építés közben



(44) Aranyhegyi borospince álmennyezetének részlete



(45) Aranyhegyi borospince álmennyezetének részlete

csempét használtak, így tulajdonképpen kis Katalán Boltozatos áthidalókkal is találkozhatunk a pincében (43)[01].

2.3. Tető kialakítások

Négy fő típust vizsgáltunk meg: a Katalán Boltozat feltöltésével létrehozott lapostetőt, a Katalán Boltozattal gyámolított magastetőt, a Katalán Boltozatos lefedést, és a zöldtetőt.

Térlefedést tekintve elmondható, hogy ha megfelelően van kialakítva a héjszerkezet, akkor igen nagy fesztávok lefedhetők épületen belüli letámasztások nélkül, így a belső tér teljesen szabadon alakítható. Sőt, a legimpozánsabb belső tereket akkor hozhatjuk létre, ha minél inkább érvényesül a földém hullámzása. Mert ha túl sok válaszfalat helyezünk el, akkor ez nem tud létrejönni. Ez viszont azt is jelenti, hogy ez a szerkezet nem csak lakóépületeknél, hanem nagyobb középületeknél is ideális szerkezet lehet.

A földém parabolaívei miatt figyelembe kell venni azt, hogy igen komoly visszhanghatás alakulhat ki a helyiségben. Ezt azzal tompíthatjuk, ha a boltozat csempéit barázdás felületűre alakítjuk ki, mert az szórja a hangot, szemben a sík felületekkel.



(46) Scotts Contracting kenderbeton háza Katalán fedéssel



(47) Scotts Contracting épületének zöldtető rétegröndje

2.3.1. A Katalán Boltozat, mint lapostető

A Katalán Boltozat ebben az esetben egy olyan térelhatároló elem, ami belülről egy dekoratív, történelmi térlefedés, ugyanakkor biztosítja a párazárási, hőszigetelési, vízszigetelési, vízvezetési követelményeket és akár járófelületként is viselkedik.

Példánkat a coloradoi Scotts Contracting kivitelező cég munkáiból merítettük. Ők a kenderbetont és a kenderet használták föl szigetelésként és ezt kombinálták a

Katalán Boltozattal. A boltozatot zárófödémként használták, kenderszigeteléssel töltötték fel, hogy vízszintes felületet kapjanak, majd újabb három katalán dongát helyeztek a tetőre (46). Zöldtető is kialakítható ezen az épületen, csak a kavicsfeltöltés felé el kell helyezni a termőközeget (47).

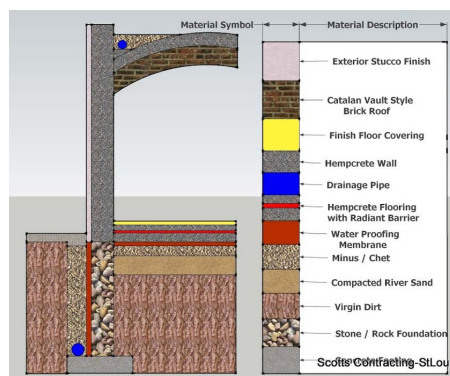
Rétegrendjük a következő (49):

- három réteg Katalán Boltozat
- kender hőszigetelés
- vízszigetelés
- kavicsfeltöltés

A minta öko-tudatos ház teteje, ahol a bemutatják a boltozat hőszigetelését és vízszigetelését, úgy néz ki, hogy a kenderbeton külső falak továbbnyúlnak, attikát képezve. Ezen belül van a lapostető, alatta katalán födémmel és az attikától elhúzva kezdődnek a katalán dongák (48).

Érdekes kérdés, hogy a vizet hogyan vezetik el a tetőről. Az oldalak mentén, ahol a Katalán Boltozat a kenderbeton falazatba ültetve elindul, magasabb kavicsfeltöltésre van szükség. Itt helyezik el a vízvezető csöveket, a feltöltéssel még lejtést is adva nekik. A tető sarkainál vízgyűjtő pontok vannak, az ide érkező csövekben lévő csapadékot összegyűjtik és újrahasznosítják.

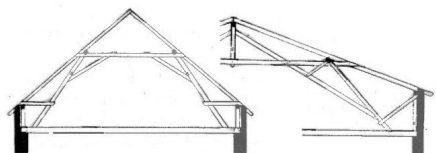
A fent említett példa bizonyítja, hogy rendelkezésünkre áll egy újabb anyag, a kender, ami egyrészt Magyarországon is olcsón termelhető és előállítható, másrészt, a Katalán Boltozattal is összeépíthető és szigetelhető, eleget téve korunk épületfizikai elvárásainak [25][26].



(48) Scotts Contracting épületének metszete



(49) Scotts Contracting lapos ívű tetőjének rétegrendje

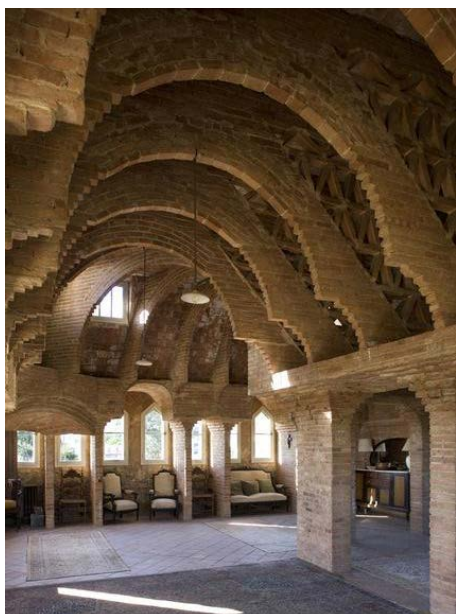


(50) A kétállószékes fedélszék boltozatos formára törekszik

2.3.2. A Katalán Boltozat és a magastető

Ebben a fejezetben egy igen különleges felhasználását mutatjuk be a Katalán Boltozatnak. Megnézzük, hogy hogyan hozható kapcsolatba a magastetővel.

A legfontosabb kérdés az, hogy hogyan tudnánk helyettesíteni a hagyományos fa fedélszékeket Katalán Boltozatokkal? Ugyanis vannak olyan szempontok, amelyek alapján a kerámia boltozat sokkal előnyösebb mint a fa gerendák: egyrészt olcsóbb, másrészt tűzálló.



(51) Fedélszéket helyettesítő Katalán bordák

Nem is gondolnánk, hogy mennyi minden a 'kezünk-re játszik'. Ha jól megfigyelünk egy hagyományos két- vagy három-állószékes fedélszéket, jól látszik, hogy a tető fa szerkezete, ha elnagyoltan is, a parabolikus ív formáját követi (50). A fa kapcsolatokban lezajló erőjáték nyomás komponense a boltozatokban lefutó erőkhöz hasonló. Ugyanis nyomás felvételére a legelőnyösebb forma a parabola. Ezt megfigyelhetjük a főfeszültségi trajektóriák vizsgálatánál: a gerendában ébredő nyomást a felfele görbülő, míg a húzást a lefele hajló ív veszi fel. Itt megjegyzendő, hogy a nyomást felvevő, felfelé domborodó, parabolikus forma pszichológiai okokból is kedvező, ugyanis bensőséges térérzetet ad, így az emberek jobban szeretnek időzni egy olyan térben, aminek a teteje boltozatot formál, mert az otthonosabb érzetet kelt.

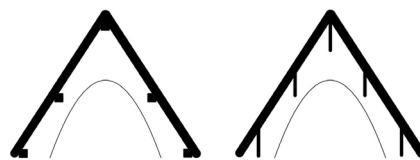


(52) Katalán bordák, mint fedélszék helyettesítő épületszerkezeti elemek

A fa szerkezetek helyettesítésekor két irányban indulhatunk el, ezeket példákkal, rajzokkal mutatjuk be.

Ahogy Antoni Gaudí Bellesguard-jánál is láthatjuk, a fedélszéket katalán bordák helyettesítik (51). Érdekessége ezeknek a támaszoknak az, hogy a mór hatást mutató körívekből metszett bordaélek feletti bordarész parabolikus, tehát alkalmas az átboltozódásra. A bordákat alkotó téglákat előbb vízszintes fugákkal helyezik el, majd a félkör negyedében átválnak katalán boltozásra. Ez a példa azt bizonyítja, hogy a Katalán Boltozat úgy

is tud teherbíró lenni, ha a boltozat felülete nem íves, hanem egyenes. Megfigyelhetjük, hogy a bordák szélén áttört, rácsostartóra emlékeztető, döntött és vízszintes téglalából kirakott felület van. Ez azt szolgálja, hogy a bordákra, a félkörívre kevesebb oldalnyomás essen, viszont a földem itt is meg legyen támasztva.



(53) Katalán bordára ültetett fa, illetve Katalán szelemenek

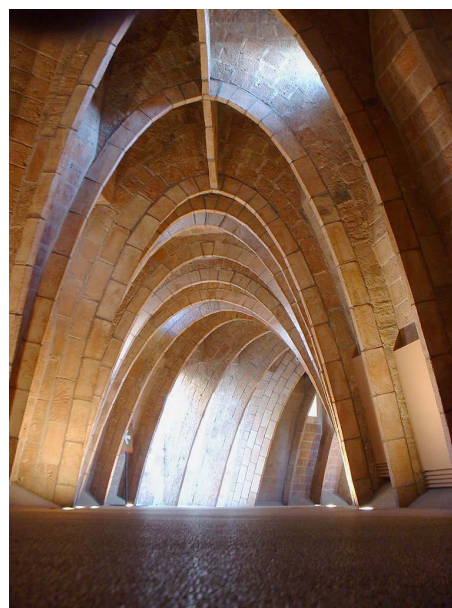
Antoni Gaudítól még egy épületet hoznánk példának. A Casa Milà, egykori gúnynevén La Pedrera padlásterében is kohéziós szerkezetekkel találkozhatunk (52) (54). A fedélszerkezetet itt is katalán bordák pótolják, viszont most mást is megfigyelhetünk. A bordák között íves katalán felületeket alakítanak ki. Ezek a boltmezők összességében egy gömbkúpulákból kimetszett héjfelületet adnak, így általuk megoldható meg az épület hosszirányú merevítése (55).

A függőleges terhekre, a fa állószékeket és dúcokat helyettesítendő, a katalán bordák nyújtanának megoldást. De mi venné fel a vízszintes terheket? Ennél a kérdésnél ágazik kétfelé a történet.

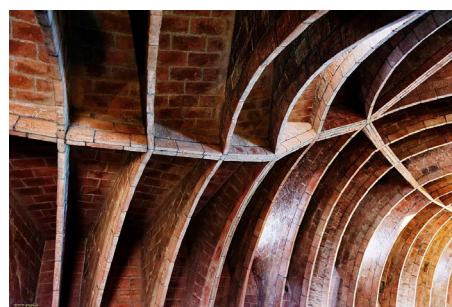
Egyrészt megoldhatjuk úgy a problémát, hogy a katalán bordákba fészkeket alakítunk is, és ezekbe fektetjük bele a talp-, a derék-, illetve a taréjszelemeneket, amik ez esetben fa gerendák.

Másrészt, merevítő, a bordákra merőleges, függőleges síkú Katalán Boltozatokkal is helyettesíthetjük a szelemeneket. Ezt a Casa Milà-nál is megfigyelhetjük: a taréjszelement két sor téglá magas, három rétegű Katalán Boltozattal pótolja, ami boltozott gerincként végigfut a bordák között, ezzel hosszirányú merevítést adva az épületnek (53).

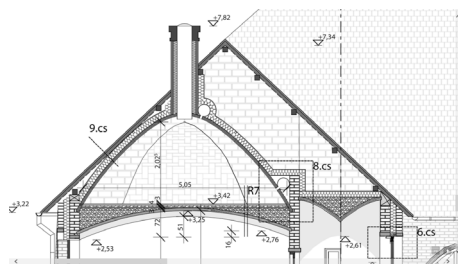
A következő kérdés, hogy mindezek után hogy alakul a magastető szerkezete és rétegrendje, hol alkalmazható a Katalán Boltozat térlefedésként? Több lehetőség van: egyrészt a hagyományos utat követve, a fa gerenda, vagy kerámia boltozott szelemenekre ráfektethetjük a szarufákat, ezekre a szigeteléseket, a lécezéseket, majd a tetőfedést.



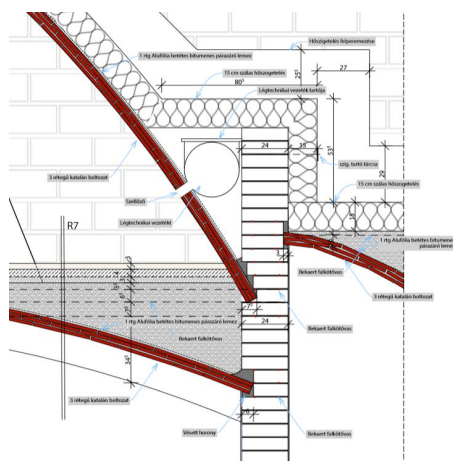
(54) Katalán bordák, mint fedélszék helyettesítő épületszerkezeti elemek



(55) Katalán bordák, és a hosszirányú merevséget biztosító gerinc



(56) Katalán boltozat, mint hőszigetelt tetőtér burka



(57) Katalán boltozatok felfekvései - befogásai

Illetve megtehetjük azt is, hogy a Casa Milà-nál látott katalán boltmezőkre ráfektetjük a szigeteléseket, majd ettől függetlenül a szarufákat, a lécezéseket és a fedést pedig a szelemenekre ültetjük.

Mivel a Katalán Boltozat tartószerkezetként viselkedik, a szaruzat akár deszkából is lehetne. Először két - három réteg deszkát kéne összeszögezni romonád - szerűen, hogy kialakítsuk az íves formát, majd akár csak a felső élét, ki lehetne fűrészelni, hogy megkapjuk a kívánt felületet. A deszkázatot kis teherelosztó fadarbakon kerseztül, 80 - 100 cm-enként lehetne rögzíteni a boltozathoz.

A fedést tekintve lehet hagyományos héjalást alkalmazni, erre Bálint Tamás zarándokházzal foglalkozó diplomatervében láthatunk példát, de lehetséges a katalán boltozó téglák megjelenése a tető héjalásaként. Egy laposabb ívekre fektetett, alacsony hajlásszögű tető kialakítás is létrehozható, külső kerámia fedéssel, ezt egy kerámia stúdiót kialakító diplomamunkában figyelhetjük meg.

A diplomamunkát tekintve egy újabb kérdés merül fel: padlás, vagy tetőtér kialakítás oldható meg Katalán Boltozatokkal? A válasz: mindkettő. Amennyiben egy fűtetlen, mondjuk tárolásra szolgáló térre van szükségünk, a hőszigetelés elhagyásával kialakíthatunk egy padlást, itt jobban látszódnak az ívek, jobban érvényesülnek a Katalán Boltozatok. Viszont ha egy fűtött, huzamosabb emberi tartózkodásra alkalmas teret szeretnénk létrehozni, akkor a zarándokház mintáját követve, kialakíthatunk egy katalán boltozott dongát, amit ellátunk párazárással és hőszigeteléssel és ezen kívül felépíthetjük a fedélszéket, aminél már nem szükséges hőszigetelést alkalmazni (56).

A boltozatot tartó falaknak viszont erősnek, és jó teherhordóknak kell lenniük. Ezt a diplomamunkákban is megfigyelhető, falkötő vasakkal oldhatjuk meg, amik besegítenek a falaknak a boltozathoz tartozó vízszintes erők felvételébe, megnövelik a falak húzószilárdságát (57).

2.3.3. Katalán boltozat fedés

Formálását tekintve ez a kategória két fő csoportra osztható: a sávós, illetve az organikusan kialakított, egybefüggő tetőre. Mindkét csoportra igaz, hogy a falakat méretezni kell a szerkezet okozta oldalnyomásra. Ezt segíti, ha a falakat – völgyzáró gátakhoz hasonlóan - ívesre tervezzük, mert így sokkal merevebb lesz. A sávós lefedésnél egy irányba tartó hullámok, ívek futnak, így lehetőség van felülvilágítók beépítésére, de ez főleg nagyobb terek, csarnokok lefedéséhez alkalmas szerkezet. Ezt a megoldást alkalmazva a tető darabossá, tagolttá válik, és elvész az a légység, ami ennek a szerkezetnek az alkalmazásában rejlik. Az egységes felületet képező szabadon formált tető már jobban kihasználja a szerkezet adta lehetőségeket formálás tekintetében, de itt még a boltozat a falak kontúrjain belül marad, nem nyúlik le a földre. Ez felveti azt a kérdést, hogy az organikus tető mennyire van összhangban a hagyományos falakkal. Ennek az ellentmondásnak feloldására a már korábban említett íves falak jelenthetnek megoldást.

Ennél a szerkezetenél azt szeretnénk elérni, hogy kívülről katalán fedést lássunk, ezért elengedhetetlen, hogy legfelső rétegnek egy „áldozati” réteget képezzünk, amit időnként ellenőrizni, és cserélni kell. Ennek előnye, hogy a szerkezet előre jelzi, ha baj van – például beázás, vagy fagyás – így a javítást még azelőtt el lehet végezni, hogy maga a tartószerkezet sérülne, vagy károsodna. Viszont arra is figyelni kell, hogy a külső réteg minél kevesebb vizet vegyen fel, ezért utólag impregnálászerrel kell átkenni.



(58) Kuba Művészeti Iskola épületegyüttese



(59) Katalán kupola merevítése bordákkal

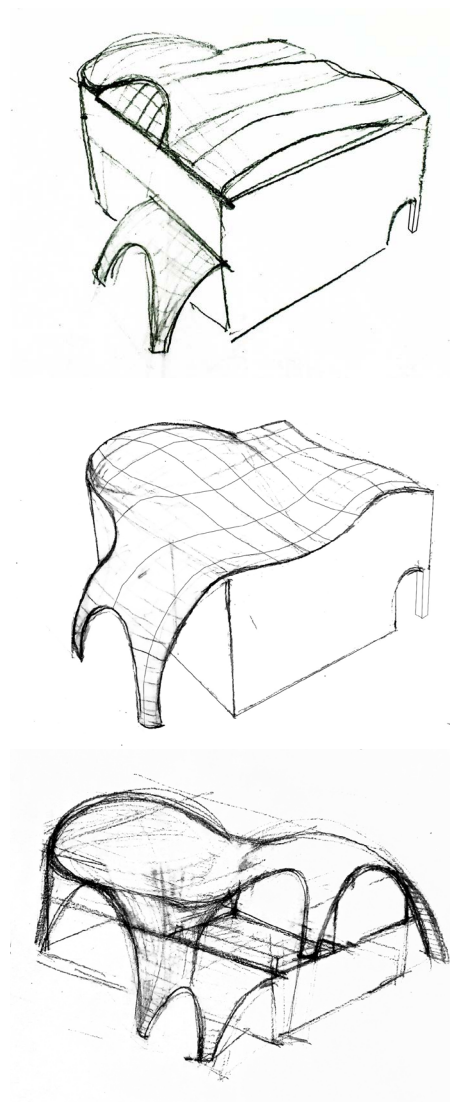


(60) Katalán kupolák vízelvezetése vízköpővel

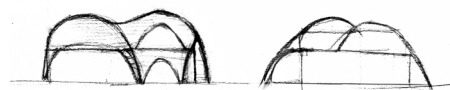
Keserű Balázs diplomatervében láthatunk erre példát.

A rétegrend a következő:

- három réteg Katalán Boltozat
- szórt bitumen párazáró réteg
- perlit feltöltés
- szobrászati habarcs aljzat
- PUR műanyag bevonatszigetelés
- két rétegű Katalán Boltozat – „áldozati réteg”, fagyálló csemperagasztóval ragasztva



(61) Katalán tető koncepciók



(62) Katalán tető koncepció – két irányú nézet



(63) Zöldtetős Katalán Boltozat

Külföldi példánk a Kubai Nemzetközi Művészeti Iskola, amit Ricardo Porro, Vittorio Garatti és Roberto Gottardi terveztek. Három fő vezérelvük volt: hogy beilleszkék az épületet a vad, változatos kubai tájba; hogy helyben előállítható téglákat és terrakotta csempeket használjanak, amik olcsóbbak voltak az importált cementnél és vasnál; illetve, hogy Katalán Boltozatot alkalmazzanak fő építészeti elemként, ami szabadon formált felületeivel ellentétben állt a nemzetközi stílus, 'kapitalista', geometriai formáival (58).

A trópusi éghajlat miatt itt nem volt szükség szigetelésekre, így a pusztán Katalán Boltozat a terefedő elem, hol íves tető, hol héjszerű pavilon szerepében. Az óriási kupolák tetején kör alakú felülvilágítók vannak, amik olykor csak nyílások, olykor üvegezett ablakok, olykor saját Katalán Boltozatos lefedéssel rendelkező, bevilágító felépítmények. A katalán kupolákkal hatalmas feszítávokat hidalnak át, ezért komplett belső, vagy külső ívrendszerekkel merevítik a boltozatokat (59). A helyiségek íves tetői masszív attikafalakkból indulnak, ezek veszik fel a fellépő erőket és továbbítják az alattuk lévő falakra, vagy pillérekre. Az épület jellegzetes megjelenését nemcsak a terrakotta kupolák és az íves, fehér attikák adják, hanem a szintén hófehér vízköpők, amik mindenhol megjelennek. A mellvédfalak helyenként át vannak törve, így a boltozatokról lefolyó víz ezeken átfolyva, a vízköpőkön keresztül távozik a tetőről (60) [06][08].

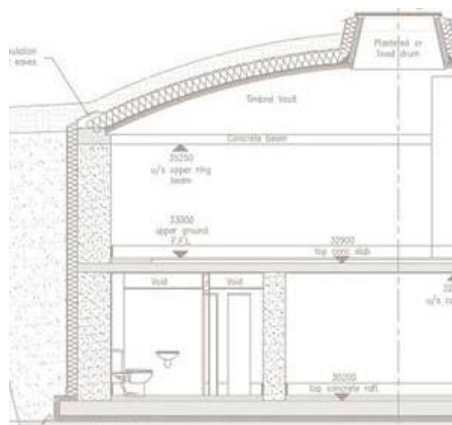
2.4. Zöldtető - Dombház

Kutatásunknak ez a legjelentősebb fejezete. Ugyanis a zöldtető talán a legideálisabb felhasználási mód és talán ez illik legjobban a rendszer organikus formálási lehetőségeihez. Továbbá a zöldtetőnek számos pozitív hatása van mind épületfizikai, mind környezettudatossági szempontból.

Ezt a megoldást ismét két típusra lehet osztani: az egyik, amikor egy hagyományos, kubusos szerkesztésű ház köré, mint egy héjat ráépítjük, a másik és egyben szerintünk a legösszetettebb megoldás, amikor az organikus héj maga az épület. Mindkét esetre igaz, hogy az ívelt felület nem szakad meg a falak kontúrjánál, hanem lefut egészen a talajig, ezzel különböző rendeltetésű tereket – fedett teraszt, előtetőt, tornácot – hozva létre. A fent ismertetett szerkesztés további kérdéseket is felvet, melyeket figyelembe kell venni tervezés közben. Ilyen például a ferde falfelületek, íves alaprajzi terek, illetve íves nyílások problémája (61)(62).

A Katalán Boltozatok zöldtetővé alakításakor érdekes kérdések merülnek fel: Hogy oldjuk meg a párazárást, a hőszigetelést és a vízszigetelést íves felületen? Szükség van-e feltöltésre? Hogy oldjuk meg, hogy a termőtalaj ne csússzon le a tetőről? Hogy tartjuk meg, illetve vezessük el a vizet? Extenzív, vagy intenzív zöldtetőt telepítünk? Egyenes, vagy fordított rétegrendet alkalmazunk? Az alábbi megoldásokat találtuk.

Tekintsünk meg egy külföldi példát. Az MIT jóvoltából az Egyesült Királyságban, Kentben épült fel egy rendezvényközpont, Pines Calyx néven. Két zöldtetős, 20-20 m átmérőjű Katalán Boltozatos kupolája van, amik egy helyen a domboldalhoz is csatlakoznak (63).



(64) Pines Calyx rendezvényközpont metszete



(65) Vízvezetés épített ereszcatornával



(66) Vízvezetés épített ereszcatornával



(67) Katalán boltozatok összekötése hajlított rétegeltlemezrel



(68) Katalán boltozat felülvilágítója

Ennek a tetőnek a rétegrendje a következő:

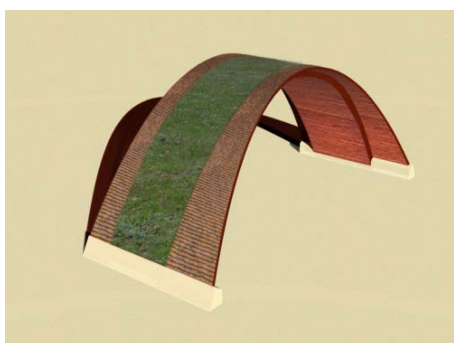
- három réteg Katalán Boltozat
- két réteg bitumenes szigetelés
- extrudált polisztirol keményhab hőszigetelés
- bitumenes vízzáró membrán
- átluggatott geocellák, amik követik a tető formáját
- a rekeszekben nagy szemű kavicsfeltöltés szivárgó és víztározó réteg
- termőföld lebomló kenderkötéllal addig megfogva, amíg meg nem erősödik a gyökérzet



(69) Richard Hawkes kent-i lakóháza

A tetőnek a dombbal való csatlakozása úgy néz ki, hogy a hőszigetelés és a vízszigetelés befordul a tetőről a ház oldalára és egészen az alapozásig le van vezetve. A fal teljes magasságában feltöltés van, erre vezették rá a tetőről a termőtalajt (64).

A Pines Calyx zöldtetős kupolájának vízelvezetése is izgalmas kérdés. A külső, íves, teherhordó fal tetején kívül tálcaszerűen körbefut egy eresz. Ennek a belső oldalán egy kis perem támasztja meg a termőtalajt. Az ereszben van elhelyezve a csatorna, a zöldtetőről ide van bevezetve a víz, a szabad ég alatt (65)(66).



(70) Richard Hawkes Katalán Boltozatának koncepcióterve

Az épület egyik fele egy, a másik viszont két szintes, így a két épületrészt lefedő két kupola különböző magasságban vannak. Az alsó tető az ereszen keresztül ível fel a felső kupolába. Ez az ív viszont nem kerámia boltozással készült, rétegezett elemekből boltozták (67). Továbbá itt nem olyan dús a növényzet, mint a kupolákon, hanem vörös forgácsokkal van betelepítve.



(71) Katalán Boltozat extenzív zöldtetővel

Illetve még egy érdekesség a tetőt illetően: nemcsak egy nagy felülvilágító, hanem egy-egy körablak is elhelyezkedik a kupolákon. Ezeket a nyílásokat úgy oldották meg, hogy a nagy felülvilágító esetében, mintha egy nagy beharapás lenne, elhagyták a boltozást egy szakaszon. Itt hosszú támasztó acélrudak pótolják a boltozatot és követik az irányát, felvéve és a gyűrű felé továbbítva a fellépő erőket. A körablakok pedig egy-egy gyűrűszerű kiemelkedésben vannak elhelyezve a kupolák csúcsán. Itt a Katalán Boltozatot kifelé kezdték építeni,

kétszer görbült felületet létrehozva, ami merevséget is biztosít a boltozatnak (68)[04][07][09][10][11][12].

Következő és talán leghíresebb XXI. példánk, Richard Hawkes extenzív zöldtetős lakóháza, szintén Kentben (69).

A házat egy nagy katalán ív és az alatta lévő közel kocka formájú test alkotja. A Katalán Boltozat a szélein a szabadtérben van, előtetőt és támfalat adva a háznak, a középső szakaszán viszont a belső tér része. A szélső szakaszokban négy réteg csempe van, míg a belső szakaszban bennebb ugrik a boltozat síkja, és a meglévő négy réteget plusz katalán ívekkel erősítik meg. Azért ugrik be a boltozat, mert ezen a szakaszon zöldtető fedí, ami ezáltal mindkét oldalán meg van támasztva (70).

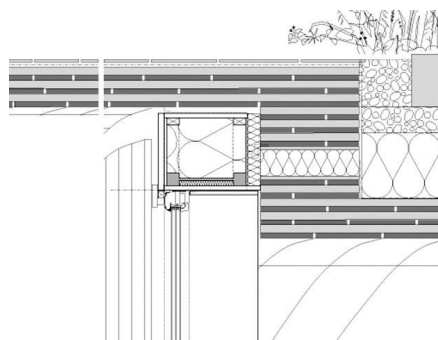
A zöldtető rétegrendje a következő:

- négy réteg Katalán Boltozat
- PVC vízszigetelés
- hőszigetelés
- kavicssterítés
- geocellák, bennük a termőtalaj, hálós megfogással

A vízszigetelés felfut a szélső ívszakaszokra is, a harmadik és negyedik, legfelső réteg közé, ami bizonyára egy „áldozati réteg”, védi az alsó rétegeket (72).

A boltozat ívét építés alatt a két oldalt lévő falszakasz, illetve fa gerendák adták meg (73). A két végén pedig egy-egy, az ív formáját követő, vasbeton alaptestből indították, amire felfuttatták a vízszigetelést, majd a növényzetet is (74). Érdekes megoldás, hogy a tetőről kétoldalt lefutó zöldtető beleolvad a talaj növényzetébe, így a vízelvezetés is meg van oldva (71)[07][14][15][16][17][18].

A külföldi példákat alapul véve, mi az alábbi megoldásokat találtuk a felmerülő problémákra.



(72) Richard Hawkes lakóházának zöldtető csomópontja



(73) Richard Hawkes lakóháza építés közben



(74) Richard Hawkes Katalán Boltozatának alapozása



(75) Perlit szemcsék rostálása

Párazárás

Ez az első, legalsó réteg a boltozat csemperétegei fölött. Hogy megakadályozzuk a lecsúszást, és egy felületfolytonos, a szabadon formált felületre könnyedén illeszkedő réteget kapjunk, szórt, vagy kent anyagot használnánk. Például bitumenmasszát.

Feltöltés

Szükség lehet valamilyen feltöltésre is, ami hőszigetel, amivel korrigálhatnánk a felület egyenetlenségeit, amivel helyenként, szükségszerűen módosíthatnánk az ívek lejtéseit és amiben a vízvezetéshez szükséges csöveket elvezethetnénk. Elvárásaink ezzel az anyaggal kapcsolatban a következők voltak: ne csússzon le, kössön meg, könnyen igazítható legyen az íves felületekhez, illetve, hogy az egyes rétegek, felhordásuk után bírják el a rajtuk dolgozó munkásokat.

Erre a funkcióra, csakúgy mint a földemek esetén, a perlitet találtuk egy lehetséges megoldásnak.



(76) Perlit szemcsék rostálása

Bár a perlit egy széles körben ismert és alkalmazott építőanyag, fontosnak tarjuk, hogy röviden ismertessük a legfontosabb jellemzőit.

A perlit egy olyan vulkanikus üveg kőzet, amely viszonylag magas víztartalmú és előállításakor megfelelő hevítés hatására nagymértékben, 7-16-szorozára megduzzad. Színe fehér, porozitása nagy és hőszigetelése magas, $\lambda = 0.045 - 0.070 \text{ W/mK}$, hagyományos hőszigetelést is helyettesíthet. Ezen kívül tűzbiztos, habosított anyaggal keverve acélszerkezetek bevonására is használják.

A hagyományos perlit tömegének kb. 2/3-át felszívja a vizes közegben, ezért egyenes rétegrend kialakítása ajánlott, hogy a vízszigetelés védelmet nyújtson a nedvesség hatások ellen.

Egy másik fajtája a hidrofób perlit, aminek a szemcséi szilikon olajjal vannak bevonva, így vizet nem szív

fel. Számunkra viszont nem lenne kifejezetten alkalmas, mivel – ahogy kísérleteink is igazolták – az olajos felület miatt a szemcséken nem tudna megtapadni a ragasztó, amivel összefoghatnánk a szemcséket.

Az áraik igen nagymértékben eltérnek: a hagyományos perlit köbmétere 12-17 000 Ft, míg a hidrofóbé 27-28 000 Ft.

Mint említettük, célunk az volt, hogy egy összeálló, alaktartó, teherbíró, hőszigetelő, feltöltést találjunk. Több ötletünk is adódott: valamiféle ragasztó-kötőanyagot használjunk, illetve a perlitet csak önmagában alkalmazzuk.

Abban az esetben, hogyha kötőanyaggal kevernénk, két technológia merült fel. Első esetben arra gondoltunk, hogy felhordjuk a perlitet az íves felületre, rápermetezzük a ragasztóanyagot, összedolgozzuk, összepréseljük, majd ezt megismételjük több rétegben. A másik esetben pedig már előre elkészítjük és összekeverjük a perlitet a kötőanyaggal, és mint a betont, felpumpáljuk a felületre.

De mi tölthetné be a ragasztóanyag szerepét? Több kísérletet is elvégeztünk a legmegfelelőbb kötőanyag megtalálására, eredményeinket alább ismertetjük. Ötleteink a következők voltak: vízzel hígított parketalakk, tapétaragasztó, faragasztó, gipsz, vagy cement. A legfontosabb szempont az volt, hogy olyan és annyi kötőanyagot találjunk és alkalmazzunk, ami épp csak megtapad a perlitszemcsék felületén, összetapasztja őket, de a köztük lévő hézagokat nem tölti ki. Ugyanis ha a hézagokban levegő van ragasztó helyett, akkor jobb hőszigetelést érünk el.

Eddigi kísérleteink során arra jutottunk, hogy a gipsz és a cement köti meg leginkább a perlitet. A parketalakk, a tapétaragasztó és a faragasztó ideiglenesen megkötötték a szemcséket, viszont hosszútávon csak úgy bizonyulnának lépésállóknak, ha egy vékony réteg betonterítést is rájuk fektetnénk. Egyelőre ezeket a vizsgálatokat végeztük el, de több kísérlet is fogja őket követni, ahol a ragasztóval kevert perlit teherbírását és a



(77) Ragasztóanyag kísérlet



(78) Ragasztóanyag kísérlet



(79) Kísérleti mintadarabok



(80) Gipsszel ragasztott perlit mintadarab



(81) Lapos ívű boltozat szigetelése táblás hőszigeteléssel



(82) Felülvilágító körbe szigetelése táblás hőszigeteléssel



(83) Vízáró membrán lángolvasztása

hőszigetelését fogjuk tesztelni (75)(76)(77)(78)(79)(80).

Időközben találtunk egy költséghatékonyabb megoldást is. Lényege, hogy semmiféle ragasztóanyagot nem használunk, hanem a perlitet zsákostól fektetjük végig a felületen, a kívánt rétegszámban és mennyiségben. Alulról fölfelé haladva hordanánk fel a zsákokat a boltozatra, így azok megtámasztanák egymást. A zsákok összefognák a perlitet, a hőszigetelés és a teherbírás nem változna. Mindenképp egy könnyebb és olcsóbb megoldás lenne, mind az előállítás, mind a felhordás szempontjából. Problémája viszont az, hogy nehéz volna úgy fektetni a zsákokat, hogy azok később se csúszzanak le egymáson, továbbá a zsákok nem biztosítanak egy szilárd, megbízható aljzatot a rá fektetett vízszigetelésnek [24].

Hőszigetelés

Az ezzel szemben támasztott elvárások a következők: lépésállóság, felhordhatóság és stabilitás íves felületen, körülbelül 16 cm vastagság. Erre a rétegre is több variációt találtunk.

A már említett perlit feltöltés: vagy kötőanyaggal keverve-préselve, vagy zsákos felhordásban.

Szórt szigetelés, Europlast, ami multifunkciós, hiszen nem csak hőszigetel, de vízszigetel és párazáró is. Ennek az a problémája, hogy nem lehet elég vastag rétegben felhordani, így nem alkalmas kiegyenlítő rétegek.

Kemény szálas szigetelés, ami lehet kétrétegű: az alsó réteg puhább, hajlik, jól igazodik az ívekhez, a felső réteg pedig keményebb, merevebb.

Lapos ívek esetén XPS-t is használhatunk, élbe vágva, több rétegben (81)(82).

Használhatjuk az úgynevezett Spaceloftot is, ami hajlítható, és háromszor olyan jól szigetel, mint a hagyományos hőszigetelés. Így ebből az anyagból 3 cm megfelel 10 cm hagyományos szigetelésnek, viszont az ára tízszerese annak.

Összesítve elmondható, hogy a két legfontosabb szempont a formálhatóság és a lépésállóság. A gyapotok ugyan formálhatók, de nem lépésállóak, a műanyag szigetelések viszont lépésállóak, de nem formálhatók. Így mindenképp a szórt hőszigetelések a legmegfelelőbbek Katalán Boltozatokra.

Vízszigetelés

Ezzel a réteggel szemben támasztott elvárásaink a következők voltak: a nyúlékonyság – hogy felvegye az íves formákat – és a húzószilárdság – hogy le ne csúszson. Arra jutottunk, hogy lapos ív, illetve egyszer görbült felület esetén bitumen, vagy PVC szigetelés lenne a legmegfelelőbb. Viszont a Katalán Boltozattal kétszer görbült felületek is előállíthatók, ahova szórt, vagy bevonatvízszigetelést kéne alkalmazni, illetve az említett Europlast szigetelést (84)(85).

Mint látható, az egyenes rétegrendet részesítenénk előnyben, mert fontos, hogy a hőszigetelésünk a csapadéktól védve legyen (83).

A vízszigetelés aljzatát tekintve a szórt hőszigetelések megfelelőek lennének, a vízszigetelést felülről pedig egy védő réteggel látnánk el, ami üvegszövet, vagy filc lenne.

Vízvezetés / Vízmegtartás

A zöldtetők telepítésének két legfontosabb aspektusára több ötletünk is született.

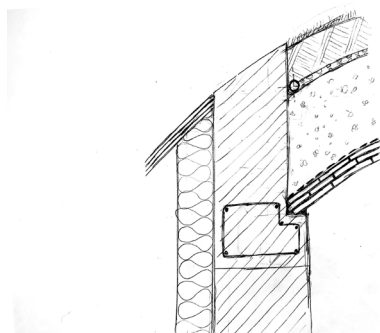
Szükség esetén használhatjuk a szokásos drain lemezt, ami védelmet nyújtana a vízszigetelésnek is. De kavicsréteggel is megoldhatjuk a problémát. Továbbá a vízmegkötő, vízraktározó, majd szükség esetén vízleadó képességét felhasználva, a termőtalajba vegyítve, a hagyományos perlitet is alkalmazhatnánk erre a funkcióra. A perlitnél viszont még jobb lenne a duzzasztott agyagkavics, mert a perlit megszívja magát, viszont a vizet túl lassan adja le.



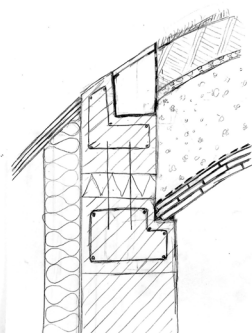
(84) Lapos ívű boltozat vízszigetelése modifikált bitumenes vastaglemezzel



(85) Lapos ívű boltozat vízszigetelése modifikált bitumenes vastaglemezzel – épített ereszcatorna kialakítás



(86) Drain csöves vízvezetés



(87) Rejtett ereszcatornás vízvezetés hőhidmegszakítóval

Vízvezetés

A boltozat íves, kétszer görbült felületét kihasználva, mondhatjuk azt, hogy a parabolát formáló ívek minimumpontjaiban, vagyis a tető legmélyebb pontjaiban alakítunk ki lefolyókat. Ez egy működőképes ötlet, az Europlastnak vannak is már folyóka csomópontjai, amik a szórt szigetelésükkel egybeépíthetők. Ez a technológia látszólag egyszerű és olcsó, viszont van hátulütője. Mégpedig az, hogy a házon belül nem feltétlenül ott van fal, vagy akna, ahol a tetőn a mélyedés, így nem biztos, hogy minden esetben kényelmesen le tudnánk vezetni a vizet a tetőről.

A folyókákat olyan helyre kell tenni, ahol praktikusán megoldható a vízvezetés. Így sokszor az ívek oldalára fognak esni ezek a pontok. Ezért ezeken a helyeken a feltöltést, mint lejtésadó réteget, magasabbra kell építeni, több rétegben kell felhordani, hogy ide vezessük a vizet a talajból.

Több megoldás is létezik arra, hogy a vízvezető csövek, ereszcatornák hol helyezkedjenek el. Egyrészt lehetnek a feltöltő rétegben, valamint a zöldtetőn kívül, a szabad ég alatt.

Hogy még részletesebben megközelítsük ezt a témát, általunk kreált példákon keresztül vizsgáljuk meg a zöldtető kialakítás lehetőségeit, a vízvezetési, lábazati, növénytelepítési megoldásokat.

Egy saját példával kezdenénk. Elképzeltünk egy olyan házat, aminek a teteje egy héjszerű, kifelé lejtő Katalán Boltozat, zöldtetővel fedve, ami áthaladva a külső térelhatároló falon, egy katalán héjban folytatódik, itt már növényzet nélkül. Felmerült a kérdés, hogy hogyan fogható meg a földtömeg és hogyan vezethető el a csapadék a zöldtetőről. Illetve, hogy hogyan kapcsolódik az ültetett boltozat a látszó kerámia boltozathoz, hogyan oldható meg a tető, és a talajig lefutó részek rétegrendjeinek összekapcsolása?

Az első ötletünk az volt, hogy egy összefüggő ívet

kapjunk, tehát megszakítás nélkül legyen az átmenet a zöldtetőből a talajig lefutó katalán ívbe. Teljesen összefüggő felületet a vízvezetés miatt igen nehéz létrehozni. Ezt a problémát úgy oldanánk meg, hogy a teherhordó falnak egy részét tovább faloznánk, ezzel egy attikát képezve, ami nem nyúlik túl az ültetőközegen, de elég erős ahhoz, hogy megtartsa a földtömeget. A külső katalán ívet pedig ennek a tetejéből folytatnánk. Az attika tetejét ívesre alakítanánk ki, így megmaradna a kívánt forma. A vízvezetést pedig egy lejtésben kialakított drain csővel képzeljük el, amit az attika mellett, a feltöltésben helyeznénk el. Ebbe a csőbe érkezne kis nyílásokon át a csapadék a tetőről, majd helyenként egy függőleges, falban elhelyezett csőben vezetnénk le a csatornába. A falnak a tetején vasalást vezetnénk végig, hogy felvegye a boltozattól származó vízszintes erőket (86).

A rétegrend a következőképpen alakulna:

- három réteg kerámia csempe Katalán Boltozat, falba ültetve
- kent, vagy szórt párazáró réteg
- hőszigetelés, ami lehet perlit, vagy Europlast, ami vízszigetel is, esetleg két réteg, élbe vágott, íves felületekhez alkalmazkodó kemény szálal hőszigetelés
 - szórt, vagy kent vízszigetelés
 - szigetelés védő filc réteg
 - drain lemez, szivárgó és víztárazó réteg
 - műanyag fátyol szűrőréteg
 - termőtalaj, perlittel, vagy duzzasztott agyagkavics-csal vegyítve
- az attika mellett kavicssterítés, szivárgó és tűzgát

Problémánk ezzel a szerkezettel a hőhid volt. Mert a külső fal mentén ugyan felvezettük a hőszigetelést, amire rátakart a külső katalán héj, de mindig maradt a külső szigetelés és a tető szigetelése között egy szakasz, ami hőhidat képzett. Erre azt a megoldást találtuk, hogy az attikába egy hőhidmegszakítót építünk bele (87).



(88) Geocella feltöltése



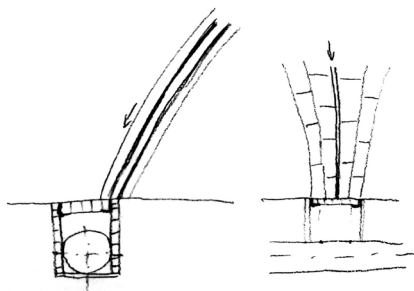
(89) Zöldtetős Katalán Boltozat geocella lefedéssel, benne feltöltés



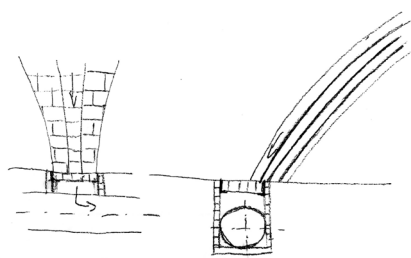
(90) Geocella beépítés részlete – Richard Hawkes lakóháza



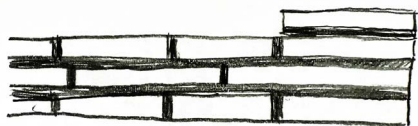
(91) Geocella feltöltés – Richard Hawkes lakóháza



(92) Lábazati vízelvezetés koncepció



(93) Lábazati vízelvezetés koncepció



(94) Földig lefutó Katalán előtető peremkialakítása



(95) Földig lefutó Katalán előtető peremkialakítása

Ezután született egy hasonló példánk. A kettő között az a különbség, hogy itt a boltozat nem szakad meg a falnál, hanem ugyanaz a katalán ív fut végig a házban belül, ami kívül is. És a zöldtető vastagsága pedig fokozatosan lecsökken a fal felé haladva. Továbbá a földet geocellával fognánk meg a lecsúszás ellen. Például a Gradex kivitelező cég gyárt geocellát, ami 7,5-20 cm széles, HDPE (nagy sűrűségű polietilén) szalagokból hegesztett térrács. Humusszal, vagy kötőanyaggal kitöltve bevált erózió és partvédő szerkezet, kővel, vagy betonnal kitöltve pedig árkokat, csatornákat készítenek belőle. Továbbá méretezve járóutak, támfalak építésére is alkalmas (88)(89)(90)(91)[27].

A zöldtető rétegrövidünk pedig:

- három réteg kerámia csempe a fal fölött áthaladva
- kent, vagy szórt párazáró réteg
- Europlast hőszigetelés és vízszigetelés
- szigetelést védő filc réteg
- Gradex geocella, az aljára szivárgó és víztározó rétegrek fektetett kavicsok
- földfeltöltés
- elbomló kenderfilc, ami addig tartja a termőtalajt, amíg meg nem erősödik a gyökérzet

Ez a megoldás annyiból jobb lenne, hogy a zöldtetőt és annak hőszigetelését le tudnánk addig vezetni, hogy átfedésbe kerüljön a fal szigetelésének síkjával, így csökkenne a hőhíd.

Ebben az esetben a vízelvezetés kérdés még. Arra gondoltunk, hogy a fal külső oldalán folytatódó boltozat végződhetne 'lábakban', azaz íves, a talaj felé szűkülő pillérek lehetnének a zöldtető folytatásai. Először is a téglákat fagyálló csemperagasztóval kéne összeragasztani, majd létrehozhatnánk a meglévő három csempe réteg fölé egy plusz réteget, egy 'áldozati réteget', aminek a téglái függőlegesen vannak elhelyezve, tehát a víz folyásával párhuzamosan. Kihagyhatnánk ennek

a rétegnek a középső, egymás után sorolt elemeit, így a víz lefolyhatna ebben a mederben. A pillér aljánál pedig a víz egy lefolyóba kerülhetne (92)(93). Azt kiküszöbölendő, hogy szél esetén a víz átcsapna a boltozaton és kifolyna az ívről, vagy plusz csempéket fektethetnénk egymás után, az íves pillér szélén, ami visszatereli a vizet a medrébe vagy a szélső csemperéteg alatt vastagabb habarcsréteget tehetnénk, úgy, hogy a külső sor befele lejtessen (94)(95).

A fent említett példákon keresztül próbáltuk bemutatni, hogy a hő- és vízszigetelési problémákra milyen megoldásokat találtak korunk építészei, illetve ezen megoldások alapján milyen újabb alternatívák képzelhetők el a Katalán Boltozat, mint zöldtető teherhordó szerkezeteként való alkalmazására. Ezek a tervezők felismerték, hogy ez a történelmi szerkezet napjainkban is megállja a helyét.

A napjainkban zajló klímaváltozás mérséklésére egy jó megoldás a zöldtető, hisz amellett, hogy jó hangszigetelő, megszűri a levegőt a szennyeződésektől, nyáron hűti a környezetét, javítja a mikroklímát és csökkenti az épület energiaveszteségeit. Azért is fektettük erre a témakörre a legtöbb hangsúlyt, hogy bemutassuk, a Katalán Boltozat és a zöldtető harmonikus egységet alkothat, illetve esztétikus látványt nyújthat, mind beltérben, mind kültérben.

3. Összegzés

Összegzésül elmondhatjuk, hogy kísérletet tettünk a Katalán Boltozattal való építkezés lehetőségeinek kibővítésére és a felmerült épületszerkeztani kérdések megválaszolására. A már megépült szerkezetek bemutatása mellett, saját példákkal is igazoltuk, hogy a boltozat hazánk éghajlati viszonyai között is megállja a helyét. Bízunk benne, hogy munkánkkal hozzájárulhatunk ahhoz, hogy Magyarországon is ismertebbé válhasson ez a különleges technológia és folytatódjon a Katalán Boltozattal való ismerkedés, építkezés, tovább bővítve a boltozat felhasználásának lehetőségeit.

Beigazolódott, hogy a boltozat kiváló teherbíró és szilárdsági tulajdonságai mellett, megfelelően alkalmazva és társítva korunk technológiai vívmányaival, könnyedén alkalmazható lépcsőként, födémként és tetőként, valamint megfelel a XXI. századi épületfizikai és épületszerkezeti elvárásoknak, igényeknek.

Mindemellett, nem csak arról van szó, hogy a Katalán Boltozat épületszerkeztanilag megfelel, hanem időtálló anyagával, változatos formavilágával és mediterrán sokszínűségével gazdagíthatja a hazai építészeti megoldásokat.

4. Irodalomjegyzék

- [01] <http://keramiaboltozat.hu/munkaink/index.php#>
- [02] Katalán boltozatok statikája_Pánczél Júlia és Bálint Tamás_ÉPK_TDK_2014
- [03] A Katalán Boltozat_rejtélyes szerkezet a múltból_Szerzők: Keserű Balázs Bálint Tamás_Konzulens: Dr. Mezős Tamás_TDK dolgozat // 2014
- [04] <http://www.structuremag.org/?p=2046>
- [05] <http://www.neh.gov/humanities/2012/novemberdecember/feature/vaulting-ambition>
- [06] <http://www.lowtechmagazine.com/2008/11/tiles-vaults.html>
- [07] <http://www.conker.cc/wp-content/uploads/2010/03/timbrel.pdf>
- [08] <http://www.archdaily.com/427268/ad-classics-the-national-art-schools-of-cuba-ricardo-porro-vittorio-garatti-robert-gattardi>
- [09] <http://www.abitare.it/en/architecture/2009/01/13/john-ochsendorf-2/>
- [10] <http://architecture.mit.edu/class/guastavino/features/pines/pines.htm>
- [11] http://flickrhivemind.net/flickr_hvmnd.cgi?search_type=User&photo_number=50&photo_type=250&noform=t&quicksearch=1&sort=Interestingness&textinput=pinescalyx.com
- [12] <http://www.arch.mcgill.ca/prof/sijpkcs/Downloads/catalan-vault-MIT-thesis.pdf>
- [13] <https://www.youtube.com/watch?v=eq-eq273JXQ>
- [14] <http://www.lowenergyhouse.com/low-energy-architecture-rh.html>
- [15] <http://www.hawkesarchitecture.co.uk/Projects.html>
- [16] https://www.facebook.com/robertstuartpike/media_set?set=a.87224890898.96556.615065898&type=3
- [17] <https://www.facebook.com/media/set/?set=a.84810748204.79499.82075308204>
- [18] http://www.passivhaustrust.org.uk/UserFiles/File/2013/Awards/Presentations/01_2013UKPHAwards_Crossway.pdf
- [19] <http://1080plus.com/i5PYWikFFxI.video>
- [20] <http://www.escalerasdeboveda.com/escaleras/escaleras-rectas>
- [21] http://www.pittet-artisans.ch/poesie_index.asp?dossier=Videos
- [22] http://euoperl.hu/alkalmazasi_teruletek/aljzat
- [23] http://euoperl.hu/alkalmazasi_teruletek/mennyezet
- [24] [https://hu.wikipedia.org/wiki/Perlit_\(k%C5%91zet\)](https://hu.wikipedia.org/wiki/Perlit_(k%C5%91zet))
- [25] <https://scottscontracting.wordpress.com/tag/hemp-building/>
- [26] <http://www.kenderhaz.hu/>
- [27] <http://gradex.hu/hu/geocellak/>

5. Ábrajegyzék

fedlap: Gaudí, Casa Milà, Barcelona, 1906

<https://www.flickr.com/photos/jordipostales/3416006990>

(1) saját munka, Budapest, 2014

saját kép

(2) saját munka, Budapest, 2014

saját kép

(3) saját munka, Budapest, 2015

saját kép

(4) Heins & Lafarge, City Hall metróállomás, New York, 1903

Michael Freeman

(5) Gaudí, Casa Milà, Barcelona, 1906

<http://media-cdn.tripadvisor.com/media/photo-s/02/59/4c/ee/the-crypt-in-colonia.jpg>

(6) Gaudí, Casa Milà, Barcelona, 1906

http://www.gaudidesigner.com/uk/casa-mila-today-this-attic-are-used-by-the-gaudi-space_224.html

(7) Luis Moya Blanco, Museo de América, Madrid, 1954

<http://www.unaventanadesdemadrid.com/madrid/museo-de-america-i.html>

(8) Eladio Dieste, Atlantidá templom, Uruguay

<http://misfitsarchitecture.com/2014/03/13/architecture-misfit-14-eladio-dieste/>

(9) Porro, Garatti, Gottardi, Kubai Művészeti Iskola, Kuba

<http://www.archdaily.com/427268/ad-classics-the-national-art-schools-of-cuba-ricardo-porro-vittorio-garatti-robert-gattardi>

(10) Pines Calyx rendezvényközpont, Kent, 2005

<http://pinescalyx.co.uk/>

(11) ETH, Zürich, 2012

<http://block.arch.ethz.ch/>

(12) ETH, SUDU, Etiópia

<http://block.arch.ethz.ch/>

(13) Richard Hawkes, lakóház, Kent, 2009

<http://www.hawkesarchitecture.co.uk/Projects.html>

(14) Peter Rich Építésziroda, Mapungubwe Látogatóközpont

<http://www.archdaily.com/57106/mapungubwe-interpretation-centre-peter-rich-architects/>

(15) Pines Calyx rendezvényközpont, Kent, 2005
http://flickrhivemind.net/flickr_hvmnd.cgi?search_type=User&photo_number=50&photo_type=250&noform=t&quicksearch=1&sort=Interestingness&textinput=pinescalyx.com

(16) saját munka, Budapest, 2014
saját fotó

(17) saját munka, Budapest, 2014
saját fotó

(18) saját munka, Budapest, 2014
saját fotó

(19) saját munka, Budapest, 2014
saját fotó

(20) saját munka, Budapest, 2014
saját fotó

(21) saját munka, Budapest, 2014
saját fotó

(22) saját munka, Budapest, 2014
saját fotó

(23) Guastavino, Columbia Egyetem, New York
Michael Freeman

(24) Guastavino, Carnegie Mellon Egyetem, Pittsburgh, 1914
Michael Freeman

(25) ábra
<https://www.google.com/>

(26) Pines Calyx rendezvényközpont, Kent, 2005
http://flickrhivemind.net/flickr_hvmnd.cgi?search_type=User&photo_number=50&photo_type=250&noform=t&quicksearch=1&sort=Interestingness&textinput=pinescalyx.com

(27) Pines Calyx rendezvényközpont, Kent, 2005
http://flickrhivemind.net/flickr_hvmnd.cgi?search_type=User&photo_number=50&photo_type=250&noform=t&quicksearch=1&sort=Interestingness&textinput=pinescalyx.com

(28) Richard Hawkes, lakóház, Kent, 2009
<https://www.google.com/>

(29) Richard Hawkes, lakóház, Kent, 2009
<http://www.hawkesarchitecture.co.uk/Projects.html>

- (30) Richard Hawkes, lakóház, Kent, 2009
<http://www.hawkesarchitecture.co.uk/Projects.html>
- (31) Pittet Artisans, boltíves konyha, Vers-Cort, 2013
http://www.pittet-artisan.ch/poesie_index.asp?type=img
- (32) Pittet Artisans, boltíves konyha, Vers-Cort, 2013
http://www.pittet-artisan.ch/poesie_index.asp?type=img
- (33) saját munka, Budapest, 2014
saját fotó
- (34) saját rajz
- (35) saját rajz
- (36) saját rajz
- (37) saját rajz
- (38) saját rajz
- (39) Luis Moya Blanco, Museo de América, Madrid, 1954
<http://www.unaventanadesdemadrid.com/madrid/museo-de-america-i.html>
- (40) Luis Moya Blanco rajza
<http://www.unaventanadesdemadrid.com/madrid/museo-de-america-i.html>
- (41) ábra
http://europert.hu/alkalmazasi_teruletek/mennyezet
- (42) Bálint Tamás és Keserű Balázs, Borospince, Aranyhegy
Bálint Tamás
- (43) Bálint Tamás és Keserű Balázs, Borospince, Aranyhegy
Bálint Tamás
- (44) Bálint Tamás és Keserű Balázs, Borospince, Aranyhegy
Bálint Tamás
- (45) Bálint Tamás és Keserű Balázs, Borospince, Aranyhegy
Bálint Tamás
- (46) Scott Contracting tervek
<https://scottscontracting.wordpress.com/tag/hemp-building/>
- (47) Scott Contracting tervek
<https://scottscontracting.wordpress.com/tag/hemp-building/>

(48) Scott Contracting tervek

<https://scottscontracting.wordpress.com/tag/hemp-building/>

(49) Scott Contracting tervek

<https://scottscontracting.wordpress.com/tag/hemp-building/>

(50) ábra

<https://www.google.com/>

(51) Gaudí, Bellesguard, Barcelona, 1909

<http://www.travel-to-costa-brava.com/images/gaudi-houses-bellesguard-interior.jpg>

(52) Gaudí, Casa Milà, Barcelona, 1906

https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/0/01/La_Pedrera_Attic_Ceiling_%285837838400%29.jpg

(53) saját ábra

(54) Gaudí, Casa Milà, Barcelona, 1906

<https://www.flickr.com/photos/archidave/355651791>

(55) Gaudí, Casa Milà, Barcelona, 1906

<http://galleryhip.com/catenary-arch-gaudi.html>

(56) Bálint Tamás diplomamunka, 2015

(57) Bálint Tamás diplomamunka, 2015

(58) Porro, Garatti, Gottardi, Kubai Művészeti Iskola, Kuba

<http://www.archdaily.com/427268/ad-classics-the-national-art-schools-of-cuba-ricardo-porro-vittorio-garatti-robert-gattardi>

(59) Porro, Garatti, Gottardi, Kubai Művészeti Iskola, Kuba

<http://www.archdaily.com/427268/ad-classics-the-national-art-schools-of-cuba-ricardo-porro-vittorio-garatti-robert-gattardi>

(60) Porro, Garatti, Gottardi, Kubai Művészeti Iskola, Kuba

<http://www.archdaily.com/427268/ad-classics-the-national-art-schools-of-cuba-ricardo-porro-vittorio-garatti-robert-gattardi>

(61) saját rajz

(62) saját rajz

(63) Pines Calyx rendezvényközpont, Kent, 2005

<http://pinescalyx.co.uk/>

(64) Pines Calyx rendezvényközpont, Kent, 2005

<http://helionixdesigns.co.uk/philosophy/>

(65) Pines Calyx rendezvényközpont, Kent, 2005
http://flickrhivemind.net/flickr_hvmnd.cgi?search_type=User&photo_number=50&photo_type=250&noform=t&quicksearch=1&sort=Interestingness&textinput=pinescalyx.com

(66) Pines Calyx rendezvényközpont, Kent, 2005
http://flickrhivemind.net/flickr_hvmnd.cgi?search_type=User&photo_number=50&photo_type=250&noform=t&quicksearch=1&sort=Interestingness&textinput=pinescalyx.com

(67) Pines Calyx rendezvényközpont, Kent, 2005
http://flickrhivemind.net/flickr_hvmnd.cgi?search_type=User&photo_number=50&photo_type=250&noform=t&quicksearch=1&sort=Interestingness&textinput=pinescalyx.com

(68) Pines Calyx rendezvényközpont, Kent, 2005
http://flickrhivemind.net/flickr_hvmnd.cgi?search_type=User&photo_number=50&photo_type=250&noform=t&quicksearch=1&sort=Interestingness&textinput=pinescalyx.com

(69) Richard Hawkes, lakóház, Kent, 2009
<http://www.hawkesarchitecture.co.uk/Projects.html>

(70) Richard Hawkes, lakóház, Kent, 2009
<https://www.google.com/>

(71) Richard Hawkes, lakóház, Kent, 2009
<https://www.google.com/>

(72) Richard Hawkes, lakóház, Kent, 2009
<http://www.hawkesarchitecture.co.uk/Projects.html>

(73) Richard Hawkes, lakóház, Kent, 2009
<https://www.google.com/>

(74) Richard Hawkes, lakóház, Kent, 2009
<https://www.google.com/>

(75) saját fotó

(76) saját fotó

(77) saját fotó

(78) saját fotó

(79) saját fotó

(80) saját fotó

(81) Pines Calyx rendezvényközpont, Kent, 2005
http://flickrhivemind.net/flickr_hvmnd.cgi?search_type=User&photo_number=50&photo_type=250&noform=t&quicksearch=1&sort=Interestingness&textinput=pinescalyx.com

(82) Pines Calyx rendezvényközpont, Kent, 2005
http://flickrhivemind.net/flickr_hvmnd.cgi?search_type=User&photo_number=50&photo_type=250&noform=t&quicksearch=1&sort=Interestingness&textinput=pinescalyx.com

(83) Pines Calyx rendezvényközpont, Kent, 2005
http://flickrhivemind.net/flickr_hvmnd.cgi?search_type=User&photo_number=50&photo_type=250&noform=t&quicksearch=1&sort=Interestingness&textinput=pinescalyx.com

(84) Pines Calyx rendezvényközpont, Kent, 2005
http://flickrhivemind.net/flickr_hvmnd.cgi?search_type=User&photo_number=50&photo_type=250&noform=t&quicksearch=1&sort=Interestingness&textinput=pinescalyx.com

(85) Pines Calyx rendezvényközpont, Kent, 2005
http://flickrhivemind.net/flickr_hvmnd.cgi?search_type=User&photo_number=50&photo_type=250&noform=t&quicksearch=1&sort=Interestingness&textinput=pinescalyx.com

(86) saját rajz

(87) saját rajz

(88) Pines Calyx rendezvényközpont, Kent, 2005
http://flickrhivemind.net/flickr_hvmnd.cgi?search_type=User&photo_number=50&photo_type=250&noform=t&quicksearch=1&sort=Interestingness&textinput=pinescalyx.com

(89) Pines Calyx rendezvényközpont, Kent, 2005
http://flickrhivemind.net/flickr_hvmnd.cgi?search_type=User&photo_number=50&photo_type=250&noform=t&quicksearch=1&sort=Interestingness&textinput=pinescalyx.com

(90) Richard Hawkes, lakóház, Kent, 2009
<http://crossway.tumblr.com/>

(91) Richard Hawkes, lakóház, Kent, 2009
<http://crossway.tumblr.com/>

(92) saját rajz

(93) saját rajz

(94) saját rajz

(95) saját rajz