

BUDAPESTI MŰSZAKI ÉS GAZDASÁGTUDOMÁNYI EGYETEM
ÉPÍTÉSZMÉRNÖKI KAR

KIRCHKNOPF MÁRTON, SZABÓ BÁLINT

TDK DOLGOZAT

Fázik-e egy templom vizes pulcsiban? – A falazat nedves-
ségtartalmának befolyása egy templom épületenergetikájára

Can a wet church catch a cold? – The influence of the moisture
content of the walls on the building energetics of a church building

Konzulensek:

Harmathy Norbert

egyetemi adjunktus

Heincz Dániel

mérnök tanár

Budapest, 2017

Köszönetnyilvánítás

TDK dolgozatunk nem jöhetett volna létre konzulenseink segítségével, támogatása nélkül, köszönjük nekik munkájukat! Köszönjük Rónai Lilla, Besszer Anna és barátaink kitartó támogatását, szerető figyelmét, bátorítását, segítségét! Köszönet Németh Norbert egyetemi lelkésznek, hogy engedélyezte számunkra a témát és lehetővé tette a templom bejárását, felmérését. Köszönjük Horváth Péternek a készségesen megosztott anyagokat és Kósa Ritának az angol fordításánál nyújtott segítségét.

Budapest, 2017. október 29.

Kirchknopf Márton, Szabó Bálint

Absztrakt

Az épületeket épületfizikai szempontból hőtechnikai és páratechnikai hatékonyságuk szerint osztályozzuk. Az éghajlati hatások az évek folyamán átírhatják ezeket az értékeket. Ezen állítás a templomépületeknél is helytálló, korukból és építési technológiájukból adódóan. Bár az energetikai szabályozás nem terjed ki hitéleti épületekre, napjainkban igény mutatkozik a templomterek komfortja iránt. Dolgozatunkban azt vizsgáljuk, hogy a falak nedvességtartalma mennyire befolyásolja egy templom energetikai viszonyait és egyes épületfizikai paramétereit? Számottevő a nedvesség befolyása - és így a tervezésénél, üzemeltetésnél figyelembe veendő -, vagy elhanyagolható és számolhatunk az építőanyag katalógus adataival? A szimulációs technológia lehetővé teszi, hogy különböző peremfeltételek mellett elemezzük az épületszerkezetek hőtani jellemzőinek változását és vizsgáljuk ezen változások hatását egy általunk választott templomépület energetikai és épületfizikai viselkedésében.

The buildings are classified by their thermal and moisture technical efficiency according to building physics. Climate impacts can overwrite these initial values over the years. This is relevant for the church buildings as well because of their age and construction technology. Though energy regulation does not cover religious buildings, nowadays there is a need for a comfortable use of their spaces. In our study we examine to what an extent the moisture content of the walls influences the energetics conditions and building physics parameters of a church. Is the influence of moisture significant and shall we take it into account during planning and operation? Or should we ignore it and rely on the data included in the construction material catalogue? Simulation technology enables to analyse the changes of the thermal properties of building structures under various boundary conditions and examine the effects of these changes in the energetic and building physics behavior of a particular church building.

Tartalomjegyzék

1. Bevezetés.....	6
1.1. Áttekintés.....	7
1.2. Téma lehatárolása.....	7
1.3. Hol állt a világ előttünk?	7
1.4. Tézis megfogalmazás	8
1.5. Hőtani ismeretek összefoglalása [6] [7]	8
1.6. Páratechnikai ismeretek összefoglalása.....	10
1.7. Kapcsolódó épületenergetikai ismeretek.....	11
1.7.1. A fűtés célja.....	11
1.7.2. Hőtehetetlenség	11
1.7.3. Páratartalom, nedvesség	12
1.7.4. Rugalmasság.....	12
1.7.5. Épület (templom) környezetének hatása	12
1.8. Szimuláció helye, szerepe a mérnöki tudományokban.....	12
1.8.1. Az épületenergetikai modellezés rövid története [9].....	13
2. Épület	14
2.1. Templom, mint speciális épület.....	14
2.2. A szombathelyi Jézus Szíve (Zárda) templom	15
2.2.1. Története.....	15
2.2.2. A templom használatának rendje	16
2.2.3. Építészeti alapadatok.....	16
2.2.4. Épületgépészeti alapadatok	18
2.3. A valóságból 3D modell	18
2.3.1. 3D modell (SketchUp, OpenStudio plugin)	18
2.3.2. Épületenergetikai modell (OpenStudio).....	21
3. Szimuláció.....	23

3.1.	Szimuláció_1	24
3.2.	Szimuláció_2	26
3.3.	Szimuláció_3	30
3.4.	Szimuláció_4	32
3.5.	Szimuláció_5	34
3.6.	Konklúzió	36
4.	Tézis válasz	37
5.	Hivatkozások	38
6.	Melléletek	39
6.1.	Építésrajzok	39
6.2.	Fotódokumentáció	39
6.3.	Emberek menetrendje	39

1. Bevezetés

Mindenki átélhette már, hogy az őszi hidegekben milyen jól esik egy meleg pulcsi. Azonban, ha egy záporban elázunk, pulcsink átnedvesedik, fázni kezdünk és akár meg is betegedhetünk. A gyógyuláshoz a gyógyszerek pedig sokszor drágák. Hasonló jelenséggel találkozunk az időjárásnak, a környezete hatásainak kitett épületek esetében is. Megépítjük őket adott tulajdonsággal rendelkező anyagokból, melyek paraméterei a beépítéstől és az idő múlása miatt megváltoznak. [1] Ezek a változások - köztük az épület nedvesedésének, falai nedvességtartalmának változása - hatást gyakorolnak az épület energetikai viszonyaira (is¹), amelyek, ha „megbetegsznek”, drága „gyógyszerekre” (nagyobb energiafogyasztás, vagy renoválás) lesz szükség. *„A templomokat hosszú időre tervezték, így sokszor a legrégebb épületek a településeken.”* [2] Ezért volt idő a változási folyamatokra, azok mértéke akár jelentős is lehet. Figyelmünk ezért is terelődött a templomok felé.

„Az emberi történelemben megfigyelhető a komfort igények változása, növekedése („elkényelmesedés”). Ez a kényelmetlenség érzetének határát is megemelte, mely azt eredményezi, hogy ami korábban jó volt, ma már kevés lehet. Így ma a templomoknál a költség- és épületfizikai kár vonzatokon kívül a mérleg másik serpenyőjében egyre nagyobb súllyal jelennek meg a lelkipásztori szempontok (a fűtetlenség miatt ne maradjanak el a hívek), mely kompromisszumos megoldást igényel, sokszor fűtés létesítéssel.” [2]

A fűtési (és légtechnikai) rendszer tervezéséhez szükséges, hogy ismerjük az épületenergetikai viszonyokat, köztük a hőszükségletet. Az épületgépész tervezőnek ezek meghatározásához rendelkezésre állnak az építőanyag gyártók katalógusai és az építészeti tervdokumentációk. (Esetleg a jogszabályok követelményeit alkalmazva a biztonság javára tévednek.) Ha azonban ezekkel számol, akkor (részben²) elhanyagolja az épület „megbetegedését”. De megengedhető ez az elhanyagolás? – merült fel bennünk a kérdés.

Az általános épületek esetében úgy sejtjük, hogy megengedhető az elhanyagolás, hiszen az eltelt idő ez esetben rövidebb (tervezés állapotában pedig még el sem kezdődött – de az életciklusban való gondolkozás miatt ott is figyelembe veendő a jövőre vonatkoztatva), a falak vékonyabbak, a házak egyszerűbben kifűthetők, a szerkezetek kevesebb energia befektetés mellett kiszellőztethetők és megvannak a technológiák a szerkezetek utólagos hőszigetelésére. Erre azonban a műemléki jelentőséggel bíró templomoknál többnyire nincs lehetőség.

¹ További hatások lehetnek: tartószerkezeti hatások, esztétika, ...

² Az építőanyagok katalógusaiban a gyártók már a beépített állapotra adják meg az értékeket, esetleg konkrét szerkezetekre.

Az elhanyagolhatóság kérdésének a megállapításához mérésel meghatározhatók az anyagjellemzők, a szerkezetek hőtechnikai adatai, a hőmérséklet mezők stb. Ezek sokszor költségesek és hosszú időt vesznek igénybe. A modern technika vívmányait felhasználva egy másik út is megnyílik: a szimulációé. Konzulensünk, HARMATHY NORBERT múlt félévi *Épületenergetikai szimulációk* alapjai kurzusa bevezetett minket ebbe a világba, ezen egyre aktuálisabbá váló témakör felé terelve érdeklődésünket.

1.1. Áttekintés

Dolgozatunk elején lehatároljuk a vizsgálandó területünket, áttekintjük a jelenlegi ismereteinket és megfogalmazzuk tézisünket. Ezt követően bemutatjuk a vizsgált épületet, általánosan szólva a templomokról, majd a konkrét templomra kitérve és annak modelljét létrehozva. A szimulációnál ismertetjük a végig járt utat, az eredményeket, végül következtetéseket vonunk le és megválaszoljuk tézisünket.

1.2. Téma lehatárolása

A már álló épületek energetikai paramétereinek közvetlen meghatározása hosszú és költséges folyamat (kivétel, ha jól működő monitoring rendszer van az épületben). A szakembereknek vagy méréseket kell végezniük (a helyszínen, vagy az épületből vett anyagminták segítségével laboratóriumban) vagy közvetett módszerrel (elméleti számítások, szimulációk) kell közeledniük a problémához. A dolgozatunk elméleti jellegéből és a rendelkezésre álló idő korlátosságából adódóan arra tettünk kísérletet, hogy az épületszerkezetek adatait szakirodalmi források alapján becsüljük és a vizesedés hatását anyagtulajdonságok változtatásával vigyük be a kísérletbe. Célunk az, hogy a dinamikus épületenergetikai szimuláció segítségével tegyünk állítást az épület vizesedésének energetikai vonatkozásaira.

1.3. Hol állt a világ előttünk?

Az általunk kutatott irodalmakban a miénkhez hasonló kutatási munkákat nem találtunk. A külföldi példák (pl. [3]) a helyszíni méréseken alapuló épületdiagnosztikai módszereket tárgyalják és ezekkel a módszerekkel csak rendszerelemeket vizsgálnak a problémás épületszekeken, az épület egészéről nem szólnak. Olaszországban több tanulmány is foglalkozik a kérdéssel, akad köztük olyan is, amely mögött két év kísérletezés és mérés munkája áll.

1.4. Tézis megfogalmazás

Az épületekbe beépített anyagok paraméterei a beépítéstől és az idő múlása, az őket érő környezeti hatások miatt megváltoznak. [1] Ezek a változások - köztük az épület nedvesedésének, falai nedvességtartalmának változása - hatást gyakorolnak az épület energetikai viszonyaira. Véleményünk szerint ez a hatás jelentős lehet, így a tervezésnél, üzemeltetésnél figyelembe kell venni, nem elégséges az építőanyag katalógus adataival számolni.

1.5. Hőtani ismeretek összefoglalása [4] [5]

Ezen tudományterülettel részletesen foglalkozik (többek között) a KÖRNYEI TAMÁS féle *Hőátvitel* tankönyv³. Jelen alfejezetben csak a rövid áttekintésre szorítkozunk, kiemelve a dolgozatunk szempontjából relevánsnak vélt részeket.

„Az egymástól eltérő hőmérsékletű közegek, vagy egy közeg különböző hőmérsékletű részei között a tapasztalatok szerint hőmérséklet kiegyenlítődés jön létre, ha a vizsgált rendszer egyébként külső behatásoktól mentes. Ezt a hőmérséklet kiegyenlítődést mindig a melegebb helyről a hidegebbik felé irányuló hőáramlás okozza.” [4] A hőterjedés törvényszerűségeit vizsgáló *hőátvitel* három alapesetet különböztet meg: (1) hővezetés, (2) hőátadás (konvekció) és (3) hősugárzás. A valóságban ezek nem elkülönülten jelentkeznek, hanem mindegyik jelen van. Az épületfal nedvességének hatását vizsgálva a (szilárd anyagban létrejövő) hővezetés alapjelensége lesz a fontos.

A szilárd anyagban létrejövő hővezetés során az anyagrészecskék „egymáshoz képest makroszkopikus nyugalomban vannak, a hő a különböző közepes sebességű (energiájú) részecskék ütközése révén, vagy a részecskék között ható erők közvetítésével molekuláról molekulára terjed, illetve fémeknél a szabad elektronok diffúziója révén áramlik.” [4]

A részecskék véletlenszerű mozgásának eredőjeként létrejön az energiaáramlás, mely hőáramsűrűségét a Fourier törvény írja le ($\vec{q} = -\lambda \cdot \overline{\text{grad } T}$).

Hőmérséklet	$T = f(x, y, z, \tau)$	[K]	állapotjelző, skalár mennyiség
Hőmérséklet gradiens	$\overline{\text{grad } T} = \frac{\partial T}{\partial \vec{n}}$	$\frac{[K]}{[m]}$	vektor mennyiség
Hőáramsűrűség	\vec{q}	$\frac{[W]}{[m^2]}$	vektor mennyiség
Hővezetési tényező	λ	$\frac{[W]}{[m \cdot K]}$	Homogén és izotróp anyagban a közeg termodinamikai állapotjelzőitől függő anyagjellemző (táblázatok, közelítő számítások) Nem izotróp anyag esetén lásd: [4] II-4.o

1-1. táblázat. Fontosabb hőtani fogalmak

³ [4]. A tankönyv fejezetei: I. Bevezetés, II. Hővezetés, III. Hővezetési feladatok numerikus megoldása, IV. Hőátadás, V. A hőátadási tényező számítási képletei, VI. Hőátadás halmazállapotváltozás során, VII. Hősugárzás, VIII. Hőcserélők, IX. Anyagjellemzők.

FOURIER kísérleti úton jutott el a fenti összefüggéshez, így annak korlátai vannak, csak megkötésekkel alkalmazhatóak. A hővezetés pontosabb leírását szolgálja a hővezetés általános differenciálegyenlete. Ezt úgy kapjuk, hogy az energiamegmaradás elvét (a termodinamika I. főtételét) a hővezetés jelenségére alkalmazzuk. Mivel hőterjedés csak akkor jöhet létre, ha a vizsgált anyag hőmérséklete az anyag különböző pontjaiban nem azonos, az I. főtételt nem egyensúlyi termodinamikai rendszerre kell felírunk. Miután az I. főtételt olyan alakra hozzuk, hogy T, p, \bar{w} lehessenek az egyenlet változói, a következő alakot kapjuk:

$$\rho \cdot \left[\frac{\partial h}{\partial \tau} + \bar{w} \cdot \overline{\text{grad } h} \right] - \left[\frac{\partial p}{\partial \tau} + \text{div}(p \cdot \bar{w}) \right] + \text{div } \dot{q} - \dot{q}_v - \sigma_x \frac{\partial w_x}{\partial x} - \tau_{xy} \frac{\partial w_x}{\partial y} - \tau_{xz} \frac{\partial w_x}{\partial z} - \tau_{yx} \frac{\partial w_y}{\partial x} - \sigma_y \frac{\partial w_y}{\partial y} - \tau_{yz} \frac{\partial w_y}{\partial z} - \tau_{zx} \frac{\partial w_z}{\partial x} - \tau_{zy} \frac{\partial w_z}{\partial y} - \sigma_z \frac{\partial w_z}{\partial z} = 0$$

Feltételezések (közelítések):

- Newtoni közeg: $\tau = \mu \cdot \frac{dw}{dy}$
(A feszültség komponenseket a vizsgált anyagra jellemző egyenletek segítségével visszavezethetjük a sebességre.)
- Fourier törvény érvényes: $\dot{q} = -\lambda \cdot \overline{\text{grad } T}$
- Lokális egyensúly van: $dh = c_p \cdot dT + \left. \frac{\partial h}{\partial p} \right|_T dp = c_p \cdot dT + \left[v - T \left. \frac{\partial v}{\partial T} \right|_p \right] dp$

A feltételezések alapján, rendezést követően az egyenlet:

$$\rho \cdot c_p \cdot \left(\frac{\partial T}{\partial \tau} + \bar{w} \cdot \overline{\text{grad } T} \right) = \text{div}(\lambda \cdot \overline{\text{grad } T}) + \dot{q}_v + T \cdot \beta \cdot \left(\frac{\partial p}{\partial \tau} + \bar{w} \cdot \overline{\text{grad } p} \right) + D(\mu, \bar{w})$$

	hőmérséklet időbeli + elmozdulásbeli megváltozása	hővezetés miatti energiamegváltozás	ami nem vezetéssel jutott az anyagba	nyomás időbeli + elmozdulásbeli megváltozása	disszipált energia
	az a hőmennyiség, amit az anyag akkor venne fel, ha a folyamat izobár lenne	vezetéssel felvett hőáram	hőforrás sűrűség	„energiamérleget helyreállító korrekció” az izobár és a tényleges folyamat energiaforgalmának különbsége	surlódási (disszipációs) munka
	A műszaki gyakorlatban sokszor:	λ állandónak tekinthető (kihozható a divergencia elé)		elhanyagolható	elhanyagolható

Így:

$$\frac{\partial T}{\partial \tau} + \bar{w} \cdot \bar{\nabla} T = a \cdot \bar{\nabla}^2 T + \frac{\dot{q}_v}{\rho \cdot c_p}$$

A mérnöki gyakorlat megkönnyítése, egyszerűsítése céljából (megfelelő közelítésekkel élve) szabványokat és rendeleteket, mérnöki előírásokat hoznak létre, melyek meghatározott esetekben alkalmazhatók. Egyes speciális esetekben (mint dolgozatunkban a λ érték változásának vizsgálata) a fizikai folyamatokat leíró, egyszerűsítéseket nem (vagy csak részben) tartalmazó (differenciál)egyenletekhez kell visszanyúlni, azokat megoldani. [2]

Az egyenletek megoldása történhet analitikusan (nem minden feladat oldható meg) vagy numerikusan (véges differencia módszer, végesesemes módszer, hőáramhálózatos módszer).

A modern technika adta lehetőségeket kihasználva a numerikus megoldásokra épülő szoftverek lettek kifejlesztve. Dolgozatunkban mi is ilyen szimulációs program(csomag)ot használtunk.

1.6. Páratechnikai ismeretek összefoglalása

A víz az emberi élet alapja, az épületek szerkezeteibe utólag bejutó víz viszont jelenkori tudásunk szerint több kárt csinál, mint hasznot. A víz a szerkezetre több helyről érkezik:

- talajból /talajvíz, rétegvíz, talajpára/
- külső térből /csapóeső, porhó, légnedvesség/
- belső térből /használati vizek, légnedvesség/

A víz a falakon és a padlón keresztül juthat páráként a térbe, de az emberi jelenlét is párát juttat be a levegőbe. A padló betonrétegének páradiffúziós ellenállása (párafékező képessége) nagyobb, mint a téglafalé, ezért a víz útja a falon keresztül jelentősebb. A belső tér burkolatának milyensége (pl. csempézés, táblás lakkozott faburkolatok), párafékező képessége is módosíthat az útvonalon, ugyanis nem engedi a pára kilépését a szerkezetből.

„A helyiség levegőjének nedvességtartalma függ a külső levegőtől, az időjárástól, annak változásától (nyár - tél, csapadékos idő - száraz idő...). A helyiséglevegő nedvességtartalmának egy részét a berendezési tárgyak felveszik-leadják, amíg beáll az egyensúly. Ha a változás túl intenzív, a szerkezetek károsodhatnak (például a fa megrepedezik), ami kerülendő. Fontos továbbá a felületi kondenzáció elkerülése is (vagy ha ez ablakok esetén nem mindig elkerülhető, akkor számolni kell vele). A levegő nedvesítése templomokban nem szokásos, az orgona esetében is egy kitett vödör vízzel megoldható.

A levegő nedvességtartalma mellett fontos még a szerkezeten belüli nedvesség áramlás, vizesedés (külső falak, padló). Fontos az (akár utólagos) vízszigetelés, a szerkezetek kiszáritása. (A nedvességtartalom nagy mértékben befolyásolja az építőanyag épületfizikai tulajdonságait.) A páradiffúziós problémák tekintetében a sók mozgása, átkristályosodás is problémákat vet fel. (Freskók kivirágzása, szerkezeti anyag károsodás.) A levegő áramlása (szennyező anyag, nedvesség hordás), a rossz tető szigetelés (a hideg húzza fel...) miatt a mennyezeti freskók is veszélyeztetettek.” [2]

1.7. Kapcsolódó épületenergetikai ismeretek

Az épületenergetika egy szép és izgalmas terület az építészet és az épületgépészet között, hiszen kölcsönös hatással vannak egymásra. Ez megkívánja a párbeszédet, kapcsolatokat, melyek eredménye többek között jelen dolgozat megszületése is.

Az épületenergetika témakörébe sok minden beletartozik, így a *fűtés, hűtés, légtechnika* stb. és az ezekre hatást gyakorló, ezeket megalapozó *építészet, épületfizika, környezet, komfortelmélet, gazdaságosság* stb. Ezek kifejtése vagy akár csak mindegyik megemlézése nem célja dolgozatunknak, de a fűtés célját és pár épületfizikai jellemzőt fontosnak tartottunk kiemelni a templomok vonatkozásában.

1.7.1. A fűtés célja

„Mérnöki oldalról a fűtés célja a veszteségek fedezése. A hőveszteség miatti tartózkodási zóna belső paraméterek változását, visszaállítását hivatott a fűtési rendszer biztosítani a fűtési időtartamban. A mérnökök ezt a mérlegegyenletek segítségével modellezik, írják le.” [2] A fűtés célja lehet továbbá lelkipásztori szempont, továbbá műemlékvédelmi, állagvédelmi eredetű is. [2] Érdemes továbbá megjegyezni, hogy a „régie építésű templomoknak rendkívül vastag falai vannak, így nem érhet el olyan tartós egyensúlyi állapot a fűtésben, amely kifogástalan méretezést tenne lehetővé. Nem az állandósult állapotot, hanem a felfűtési folyamatot kell megtervezni.” [6]

1.7.2. Hőtárolatlanság

„A felület-térfogat arányból (A/V) következik, hogy a templomokat nem szabad hagyni (teljesen) kihűlni, mert nehéz és energiaigényes utána újra felfűteni.

Nagy a hatása a templom tájolásának, az eltérő funkciójú helyiségek elhelyezkedésének.

A templomok hőtároló képessége nem csak az anyagoktól és a szerkezetek vastagságától, de a rétegtől is függ. A hőtároló képesség előny és hátrány is lehet. (Például kevésbé hűl le a templom, kisebb a veszteség, de szakaszosan vagy ritkán használt helyiségeknél a cél az, hogy a használati idő kezdetén minél gyorsabban fel lehessen fűteni őket...) A hőtárolásban nem csak a külső, hanem a belső szerkezetek is részt vesznek. (...) Koránt sem biztos, miszerint kialakul tartós egyensúlyi állapot a fűtésben, ezért instacioner folyamatok vizsgálata szükséges. A hőtárolási folyamat periodikus (napi és éves periodicitás). Fontos fizikai mennyiségek a szerkezetek fajlagos hőtároló képessége és a helyiségek hőtároló tömege.

A templomok hőtárolási képességéhez kapcsolódóan fontos fogalmak még a csillapítás (csillapítási tényező) és a késleltetés.” [2]

1.7.3. Páratartalom, nedvesség

Lásd 1.6. alfejezet.

1.7.4. Rugalmasság

„A rugalmasság csak részben épületfizikai jellemző, az ember környezetével van összefüggésben. Összefüggésben van az ember metabolikus hőtermelésével (fizikai aktivitás, ülés, állás; életkor...), a ruházattal (I érték) és az ember és a hőforrás közti “úttal”, vagyis hogy mennyi idő alatt fejt ki a rendszer a hatását.” [2]

1.7.5. Épület (templom) környezetének hatása

„A templom belső adottságai mellett fontos tisztában lenni az urbanisztikai környezetével is. Az épített környezet, valamint növényzet egyrészt az árnyékolással (szoláris hatás), másrészt a szélviszonyok alakításával fejtik ki hatásukat. Fontos továbbá, hogy a templom hol helyezkedik el, esetlegesen egy városi „hőszigetben”-e, vagy sem? Valamint a környezet zaj- és szennyezőanyag terhelése is fontos szempont lehet.” [2]

1.8. Szimuláció helye, szerepe a mérnöki tudományokban

A mérnöki gyakorlat megkönnyítése, egyszerűsítése céljából (megfelelő közelítésekkel élve) szabványokat és rendeleteket, mérnöki előírásokat hoznak létre, melyek meghatározott esetekben alkalmazhatók. Egyes speciális esetekben azonban a fizikai folyamatokat leíró, egyszerűsítéseket nem (vagy csak részben) tartalmazó (differenciál)egyenletekhez kell visszanyúlni, azokat megoldani. [2]

Az egyenletek megoldása történhet analitikusan (nem minden feladat oldható meg) vagy numerikusan (véges differencia módszer, végeselemes módszer, hőáramhálózatos módszer). A modern technika adta lehetőségeket kihasználva a numerikus megoldásokra épülő szoftverek lettek kifejlesztve.

1.8.1. Az épületenergetikai modellezés rövid története [7]

Az épületenergetikai modellezés történetének első szakasza, az elméleti alapok letétele az 1900-as évek első felében zajlott. Ekkor kezdték használni a válaszfaktor módszert (továbbiakban RFM) az átmeneti hőáramlás számítására, papír alapon.

1959-ben megalakult az *American Society of Heating Refrigeration and Air-Conditioning Engineers* (ASHRAE, amerikai, fűtéssel, hűtéssel és légkondicionálással foglalkozó mérnököket tömörítő egyesület).

Az 1960-as évekig papír alapon, manuálisan számolták az épületekben létrejövő hőáramokat, az amerikai hadsereg révén kezdték el a számítógépeket is alkalmazni ezen a területen. Az ekkor kifejlesztett számítógépes programok azonban még nagyon kezdetlegesek voltak.

1970-ben TAMAMI KUSUDA bemutatta az első tanulmányát a BEM (Building Energy Modelling) számítógépen való alkalmazásáról az első nemzetközi épületteljesítmény-szimulációs konferencián Marylandben.

1973-ban az arab olaj embargó tovább erősítette a készletet az épületenergetikai hatékonyság szabályozására. Ennek hatására Az NBS kiadta az épületek standardját lefektető, szabályozó dokumentumot.

Az 1980-as éveket elsősorban a már létező programok frissítése, korszerűsítése jellemezte. A BEM programok egyik fontos haszna, hogy támogassák az épületenergetikai standardok fejlesztését, így folyamatosan fejlesztik őket alkalmazásuk kezdete óta.

Az 1990-es évek első fele az újraértékelésről és az új irányok megadásáról szólt. Ezen évtizedet a személyi számítógépek felemelkedése is jellemzi.

1996-ban a Department of Energy (DOE) egy új program fejlesztésével kezdett foglalkozni: az EnergyPlus-sal.

1993-ban a Transient System Simulation Program (TRNSYS) kiadta az első Windows-kompatibilis verzióját, ez megnyitotta az utat a személyi számítógépek térhódításának a szimulációs technológiában. A kétezres évekre a BEM és BIM modellek közötti átjárhatóság is megvalósult, ezáltal a két terület sokkal szorosabb kapcsolatba került egymással. Felismerve a szimuláció jelentőségét egyre gyakrabban tűnik fel az épületekkel foglalkozó szakágak reper-toárjában és válik elfogadottá a szakma minden területén. A szimuláció fontossá vált a tervezésben is ahol az integrált tervezői megközelítés térhódításával létjogosultsága is megnőtt.

2. Épület

Dolgozatunk jelen fejezetében először általánosságban írunk a templomról, mint speciális épületről, majd bemutatjuk a vizsgált templomot, valamint megalkotjuk annak modelljét.

2.1. Templom, mint speciális épület

„Az első és legfontosabb, melyet megállapíthatunk, ha körbe nézünk településeinken az, hogy templom mindenhol van, ugyanakkor nincs belőlük két egyforma. Ennek ellenére mégis viszonylag kötött építészet jellemzi őket. Ez egyrészt ered a céljukból és funkciójukból (adott szimbolika, liturgia formájának állandósága), de a templomok építése során a környezetük is meghatározó volt. Hiszen nem csak célját elérőnek, önmagában szépnek kellett (és kell ma is) lennie, hanem integrálódnia kell a településképbe is.” [2]

„A templomokat hosszú időre tervezték, így sokszor a legrégebb épületek a településeken. (Magyarországra is jellemzőek a régi templomok.)” [2]

„A templomok a templomtérén kívül további helyiségekre tagozódnak, illetve épületekkel egészülhetnek ki, épületegyütteseket létrehozva. Minden templom különböző a helyiségek fajtájában és elhelyezkedésében is.” [2]

„A templomok elsődleges funkciója a liturgia befogadása, az Oltáriszentség őrzése és az imádság elősegítése a szimbolikán keresztül. Ezen szempontok jelentős korlátozó hatást gyakorolnak az épületgépészetre is, ugyanakkor a komfort igények változása miatt egyre nagyobb súllyal megjelenő lelkipásztori szempont, hogy a fűtetlenség miatt ne maradjanak el a hívek, sokszor kompromisszumos megoldást igényel.” [2]

„A templomok használati funkcióját tekintve három főbb kategóriát különböztetünk meg: „múzeum”, „városi filia”, „vidéki”. A vidéki templomok esetében ritkábban van szentmise (hetente, kéthetente, havonta), esetleg közös imára, népi ájtatosságra, lelkipásztori munkatárs vezette igeliturgiára gyűlhetnek össze a hívek. A városi filiákban minden héten van szentmise: vasárnap (és szombat este) akár több is, valamint hétköznapi napokon is lehetnek. Feltehetően pezsgőbb a hitélet: szentségimádások, népi ájtatosságok, de akár kulturális programok is lehetnek, például koncertek. Az egyes alkalmakon nagyobb (lehet) a várható hívőszám a falusi templomokhoz képest. A múzeum jellegű templomoknál a hitélet mellett megjelenik a turisztika is, mely hatására a templom folyamatos használatban van.” [2]

A „templomok sokszor igen gazdagon díszítettek, nagy művészeti értéket képviselnek önmagukban és „berendezési tárgyaik-ban” egyaránt. Ezen értékek megőrzésére fokozottan ügyelni kell!” [2]

„A templomok többsége régi épület, többször is lehetett (különböző mértékig) felújítva. Az egyes felújítások különböző stílusú korokban, eltérő nézőpontú plébánosok idejében is történhettek, így nem mindig az eredeti állapotot állították helyre, hanem a kor igényeinek megfelelően modernizáltak. Ezért” az épületgépészeti „kivitelezést sokszor régészeti feltárásnak kell megelőznie, s ha például egy értékes freskót találnak a vakolat alatt, az a tervek módosítását is eredményezheti.” [2]

„»Ez a kulturális örökség érzékeny a hőmérséklet változásaira és a relatív páratartalomra, alkalmazkodott az adott helyi mikroklímához, annak átlagos értékeihez és változékonyságához. Miután évszázadokig használták a hideg templomokat, a fűtés bevezetése gyakran okoz kisebb-nagyobb nyilvánvaló károkat.« A tervezéskor így nagy figyelmet kell fordítani a paraméterek változtatásának gyorsaságára! (»A belső kialakítás megóvása érdekében (falfestmények, festmények, fametszetek stb.) a hőmérséklet-változások csak lassan történhetnek, $\approx 1,5$ K/h «)

»Időnként jobb lehet egyáltalán nem csinálni semmit, mint telepíteni egy káros fűtési rendszert.«” [2]

„»A nyugati kereszténység nagyon következetesen akart és tudott templomainak építésekor a földrajzi és történeti körülményekhez alkalmazkodni.« Ez megmutatkozik az anyaghasználatban, technikában, építészeti stílusban.

Már ebből is látszik, hogy az épületfizikának a vizsgálata nagyon egyesi, specifikus.” [2]

2.2. A szombathelyi Jézus Szíve (Zárda) templom

2.2.1. Története

„Szombathely történelmi belvárosának peremén, a Szily és a Kőszegi utcára merőlegesen alakult ki a XIX. században a Faludi Ferenc utca, mai nevén Petőfi Sándor utca. A terület a XVIII. század második felében még teljesen beépítetlen, a XIX. század fordulójára terjed ki a város erre a területre. Az utca jellegzetes épületei ekkor épülnek meg. A Petőfi Sándor utca 39. szám alatti klasszicista stílusú óvodát és lakóházat 1838-1839-es években építették fel VOJTA DONÁT tervei alapján. 1857-től polgári lakóépületként működött, majd 1905-ben a domonkos nővérek vették meg. (A domonkos rendi apácákat Dr. István Vilmos megyéspüspök

kezdemenyezésére hívták Szombathelyre.) Dr. Alexy Emil a domonkos rend részére ajándékozta az épület melletti telket a templom és iskola építésére (mely időközben kiegészült a tervezés időszakában). Az alapok előkészítése 1904-ben kezdődött. SCHLAGER MÁTYÁS linzi építész tervei szerint építették fel a templomukat, valamint a telek sarokrészén az elemi és polgári iskolájukat kollégiummal és rendházzal. A kivitelezést a helyi építőmester, Metzner József végezte. A templom és az épületegyüttes felszentelése 1906. évben történt meg, ekkor már folyt az iskolai oktatás. A rend feloszlatásakor az épületek állami tulajdonba kerültek.

Ma a volt domonkos rendház épületei elkülönülő funkciókat töltenek be: a saroképületrészben általános iskola, a volt zárdaépület vegyes rendeltetésű szolgáltató és lakóház, közöttük a 6106/1 Hrsz-on a Jézus Szíve⁴ templom működik. Jelenleg az egyházhoz a templom bruttó alapterülete tartozik. A templom oldalsó megközelítése csak közvetett módon biztosított: az iskola udvaráról és a volt zárdaépület (jelenleg magántulajdonú szolgáltatóegység) udvaráról. A főhomlokzat közterülettel kapcsolatos.

A templom többször volt részben és teljes körűen felújítva, az utolsó teljes külső és belső felújítás 2013-ban valósult meg. A templom fizikai megjelenését a következő alfejezetben részletezem.

A templom műemléki védettségű épület.” [2]

2.2.2. A templom használatának rendje

egész évben	szombat 18 órakor és vasárnap 10:30 órakor szentmise hónap első vasárnapján 17 órakor horvát nyelvű szentmise hónap harmadik vasárnapján 17:30 órakor görög liturgia
iskolaidőben	kedden és csütörtökön 18 órakor szentmise kedden 16 órától szentségimádás csütörtökön szentmise után szentségimádás vasárnap 20 órakor szentmise
alkalmanként	ünnepi szentmisék közösségi rendezvények népi ájtatosságok koncertek

2.2.3. Építészeti alapadatok

„A templom falazata nagyméretű téglá, a nyílászárók egyrétegű üvegezésű, eredeti, javított fa nyílászáró szerkezetek.” [2]

⁴ A templomot Jézus Szíve tiszteletére szentelték, így az lett a titulusa. A domonkos nővérek és rendházuk miatt a köznyelvben Zárda templomként is emlegetik. A templomban egy ideig premontrei szerzetesek végeztek szolgálatot, rendalapítójuk révén így a Szent Norbert templom név is ráragadt, de ez sosem volt hivatalos, bár sok dokumentumba belekerült. [2]

Munkánk során a templomról kapott digitális terveket a helyszínen felméréssel⁵ leellenőriztük, a méretek alapján pontosítottuk, ezeket a módosított tervrajzokat közöljük a mellékletekben.

Az épület több felújításon is átesett, bizonyos szerkezetek takartak (falak, födémek) így a geometriai méreteken túl a pontos szerkezetekre csak a [8] és [9] források alapján tudunk következtetni.

A felmérés és az előbbi források alapján az épület szerkezeteire a következő rétegrendeket feltételeztük:

R1 födém	2 cm hézagos deszkázat 5 cm homokfeltöltés 2 cm felső hézagléces borítás 24 cm gerendázat 2,5 cm stukatur vakolat
R2 padló	2 cm hajópadló 5 cm homok ágyazat 6 cm beton aljzat 15 cm homokos kavics feltöltés 30 cm tömörített talaj
R3 padló	3 cm kőlap burkolat 5 cm cementes mischung 6 cm beton aljzat 15 cm homokos kavics feltöltés 30 cm tömörített talaj
R4 padló	0,7 cm greslap 1 cm felületkiegyenlítés és ragasztás 3 cm kőlap burkolat 5 cm mischung 6 cm beton aljzat 15 cm homokos kavics feltöltés 30 cm tömörített talaj
falak	1 cm külső vakolat nagy méretű tömör téglák 1 cm belső vakolat

2-1. táblázat. A felmérés és a szakirodalmi források alapján feltételezett rétegrendek

⁵ A következő felméréseket végeztük el:

- 2017. szeptember 22., Kirchknopf Márton, geometriai méretek rögzítése (lézeres távolságmérővel), fényképes felmérés (belülről)
- 2017. október 13., Kirchknopf Márton, fényképes felmérés (kívülről, padlás)
- 2017. október 15., Kirchknopf Márton és Szabó Bálint, geometriai méretek további rögzítése, ellenőrzése (lézeres távolságmérővel)

2.2.4. Épületgépészeti alapadatok

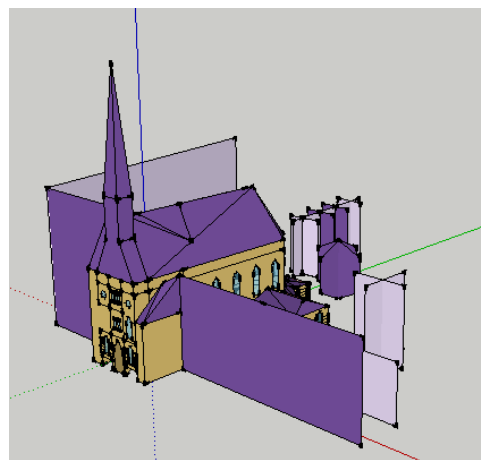
A „templomban korábban kialakításra került egy elektromos tárolókályhával megvalósított légfűtés, valamint elektromos padfűtés. A templom fűtési rendszerében 2015-ben változások történtek. A magas üzemeltetési költségek, rossz hatékonyság és egyéb problémák, panaszok miatt az elektromos tárolókályhák elbontásra kerültek és egy fali gázkazánról táplált radiátoros fűtési rendszer került kialakításra.” [2]

2.3. A valóságból 3D modell

A valóságnak mindenre kiterjedő leírása nem lehetséges, de nem is kívánatos a mérnöki gyakorlatban. Egy adott problémakör vizsgálatához csak a releváns információkat kell figyelembe venni, a valóságnak a többi része egyszerűsíthető, vagy akár el is hanyagolható, így létrehozva a valóság leegyszerűsített leírását a modellt.

Az energetikai modell létrehozásához először meg kellett alkotnunk a templom **3D modelljét**. Szerkesztésekor arra figyeltünk, hogy a valós adatok a lehető legkisebb mértékben csorbuljanak, ugyanakkor a nem releváns információk minél egyszerűbbek legyenek. Először is meghatároztuk a geometriát. Az építészeti alapadatok alapján a SketchUp programon belül az OpenStudio plugin segítségével alkottuk meg modellünket a virtuális térben. Az OpenStudio program segítségével a geometriai modellt feltöltöttük anyagjellemzőkkel, épületszerkezetekkel, menetrendekkel, időjárési adatokkal, létrehozva így az **épületenergetikai modellt**. Ezen folyamatot, a közelítések feltüntetésével az alábbiakban részletezzük.

2.3.1. 3D modell (SketchUp, OpenStudio plugin)



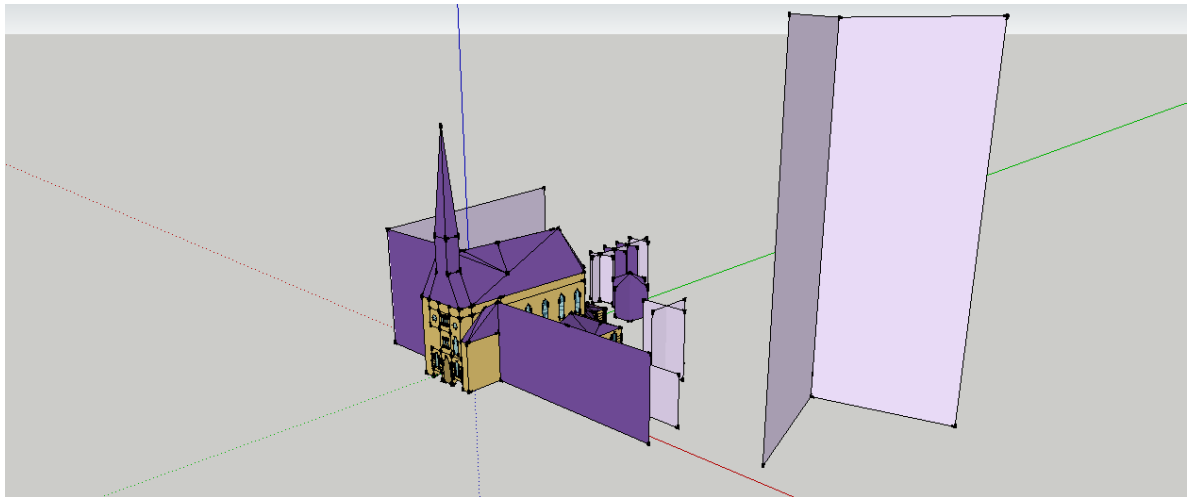
A geometriai modell megalkotásának folyamata:

- Az építészeti rajzok alapján megrajzoltuk az alaprajzot.
- A helyiségeket kihúztuk a térbe a belmagasságok megadásával.
- Felületek ütköztetése.
- Árnyékoló felületek megrajzolása.
- Nyílászárók megrajzolása.
- A szimulációhoz szükséges falsávok megrajzolása.

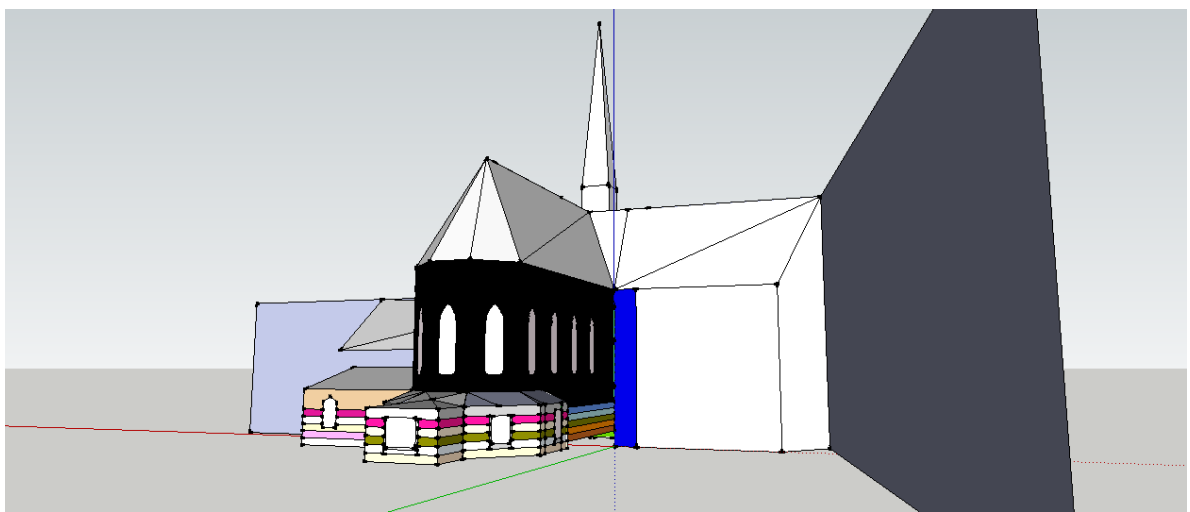
A geometriai modell megalkotása során a következő egyszerűsítésekkel éltünk:

- A falakat felületekként adtuk meg (az energetikai modellnél meg tudunk adni falvastagságokat). Alapvetően a belső méretekkel adtuk meg a helyiségeket, a szerkezeti vastagság változásai azonban problémát („vastag falak problémája”) jelentenek a modell megrajzolásakor. A probléma megoldására több lehetőség is kínálkozik: (1) a modellben felbontani a felületeket és vastagság változás szerint külön szerkezetként kezelni őket, (2) a vastag falszerkezeteket is külön zónának vesszük, csak a szimulációba nem vesszük bele, (3) kissé módosítjuk az alaprajzot, hogy a falak összeérjenek, de a légtérfogat változatlan maradjon. Mi ez utóbbi, (3)-as módszert alkalmaztuk. A geometriát úgy változtattuk kis mértékben, hogy a valós és modellbeli alapterületek megegyezzenek, így a légtérfogat egyenlőségéhez nem volt szükség a belmagasságok változtatására.
- A templom főhajója boltozott, összetett geometriájú, melynek funkciója esztétikai. Az energetikában a felületével, tömegével jelentős. A geometriai modellben a főhajó lefedését egy síkkal oldottuk meg egyszerűsítés gyanánt. Az energetikára gyakorolt hatást a vastagság és anyag megadánál korrigálhatjuk.

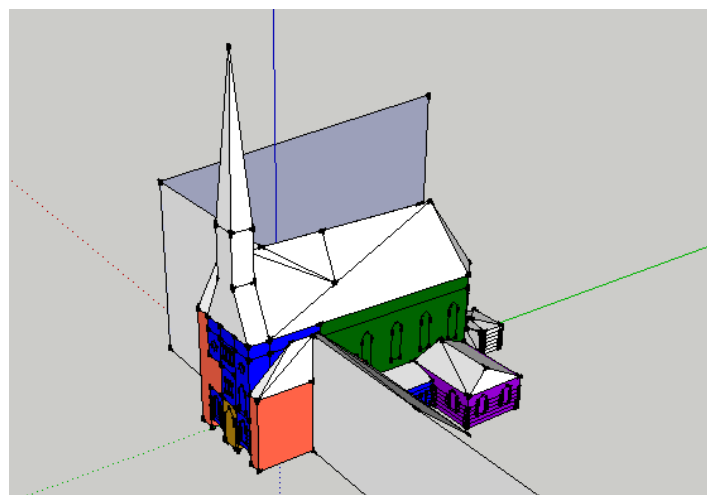
Az elkészült geometriai modellt az alábbi ábrák szemléltetik:



2-1. ábra. Az egész modell. Az épület és az ármékolók.



2-2. ábra. Az általunk választott vizsgálati rendszer a falak vízszintes felosztása volt. A sávokhoz eltérő hővezetési tényezőket rendelünk a feltételezett nedvesedés függvényében.



2-3. ábra. Az általunk használt tértípusok grafikus megjelenítése

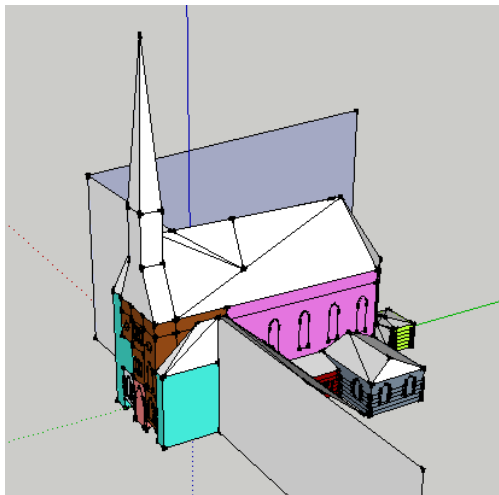
2.3.2. Épületenergetikai modell (OpenStudio)

Az épületenergetikai modell megalkotásának folyamata:

- Termikus zónák létrehozása (SketchUp, OpenStudio plugin)
- A geometriai modell feltöltése adatokkal:
 - A helyszínnek megfelelő időjárási adatok betöltése a modellbe.
 - Menetrendek létrehozása: fűtés, (hűtés), emberek, (világítás), (elektromos be-
rendezések)
 - Anyagok megadása, majd ezek segítségével szerkezetek készítése
 - A különböző helyiségtípusokhoz definiálhatunk külön menetrendeket és szer-
kezeteket, továbbá a szerkezetek rétegrendjét felületenként is változtathatjuk,
melyet a szimulációhoz mi kis is használunk.
 - Az előbbi adatokat egymáshoz rendeltük.

Termikus zónák

- Azonos légállapotú és funkciójú terek egy termikus zónaként vannak megjelölve a
modellben
- A toronytér és a padlástér fűtetlen
- A létrehozott termikus zónákat a 2-4. ábra szemlélteti.



2-4. ábra. Az általunk beállított termikus zónák grafikus megjelenítése

Anyagok, épületszerkezetek

A templomok szerkezeti sajátosak, hiszen a korukból eredően többször lehettek bővítések, átalakítások, felújítások, melyek során eltérő anyag volt megfelelő és elérhető. (Nagyobb templomok esetében, ha hosszabb volt az építési idő, akkor ennek folyamán is változhatott a felhasznált anyagok minősége.)

Az általunk vizsgált templom fala inhomogén, több tekintetben is: szerkezeti vastagságban, korban, alkalmazott szerkezetekben.

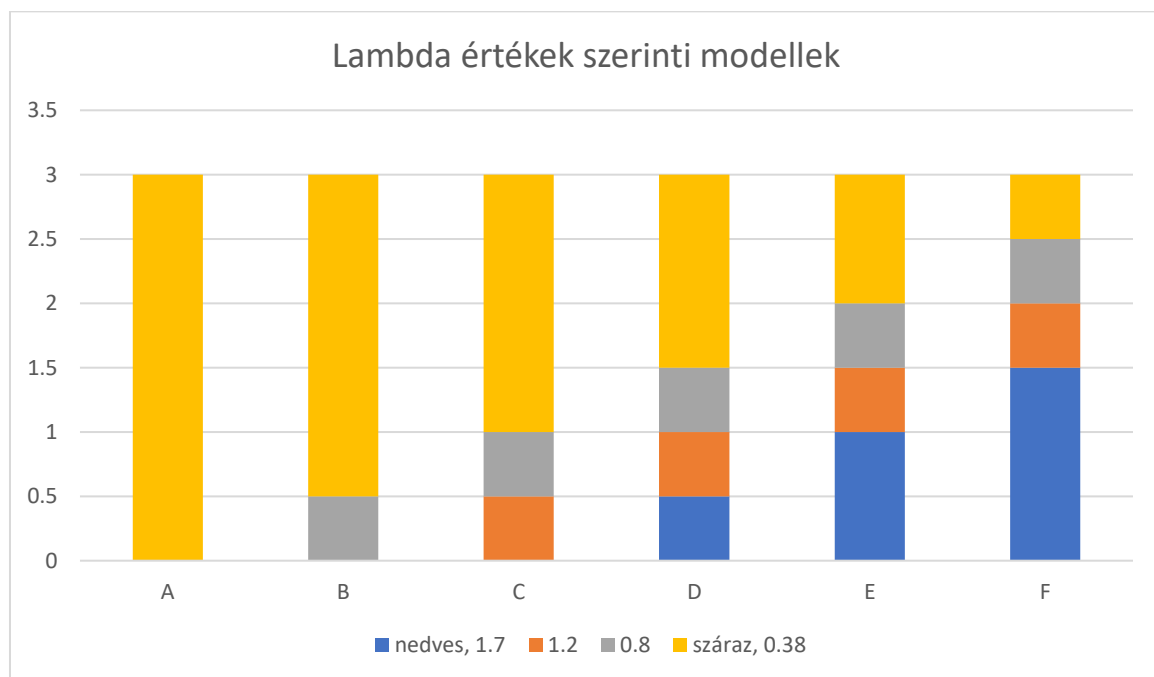
Az épületenergetikai modell megalkotása során a következő egyszerűsítésekkel éltünk:

- Nem hoztunk létre padlásteret termikus zónaként, helyette szigeteléssel oldottuk meg, hogy nem külső fali hőveszteség legyen rajta.
- A modellünkben feltételeztük, hogy a külső és belső felújításon nemrég áttesett épületben a kapilláris emelkedésből származó vízterhelés a meghatározó, ugyanis az épület szigetelve nem lett a felújítás alkalmával.
- Az üzemeltetési, kivitelezési és egyéb hibáktól most eltekintünk, hiszen ezek inkább helyi jellegű hibák kialakulásához vezetnek. Ilyenek például egy cserép elmozdulása, egy vízelvezető cső eltömődése, egy talajban lévő csőtörés, falazat repedései, belső térben létrejött csőtörés.

3. Szimuláció

A nedvességtartalmat veszélyeztetett zónákban változtattuk (lábazat, ereszek környéke, ablakok párkány alatti területe). A programban ez praktikusán “lamda” értékek módosítását jelenti.

A szimuláció kimenő adatok tekintetében is nagyon sok választási lehetőségünk van, mi a dolgozatunkban a belső léghőmérsékleti, illetve páratartalmi adatokat figyeljük

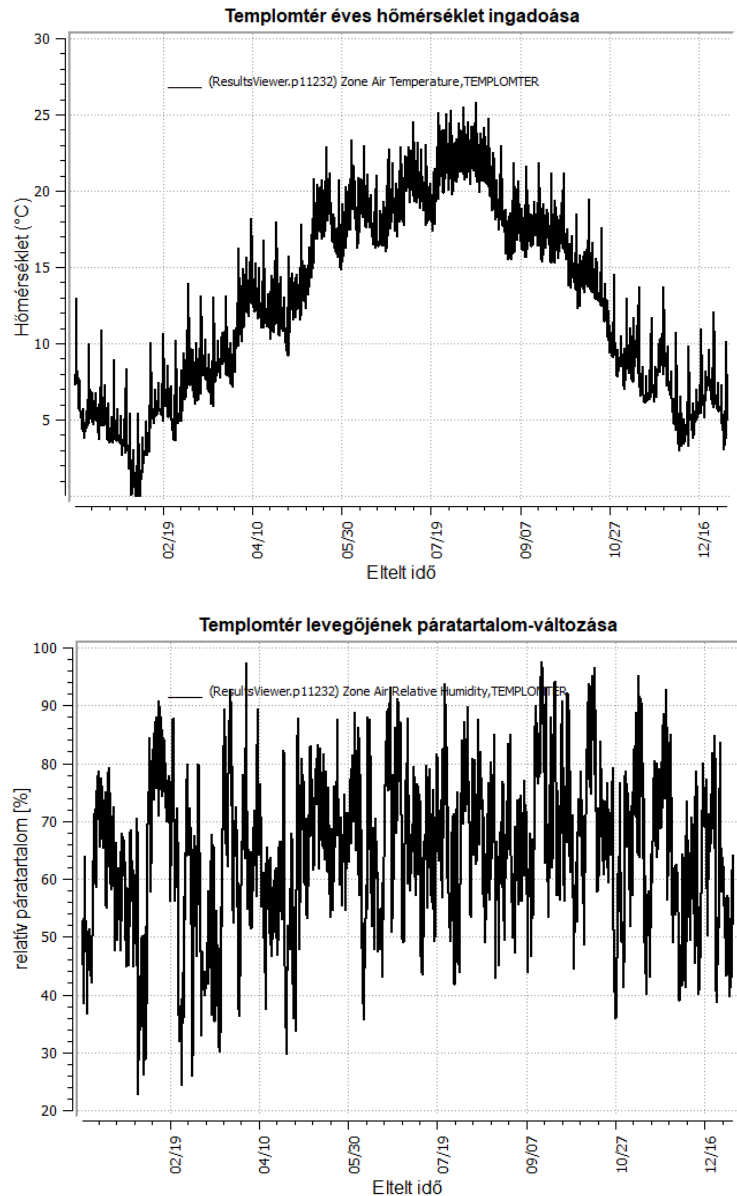


3-1. ábra. A λ értékek változtatása az egyes szimulációs esetekben

A szimulációinknál a felhasználók menetrendjét végig változatlanul hagytuk (lásd melléklet), a falak víztartalmát és a fűtési szokásokat változtattuk

3.1. Szimuláció_1

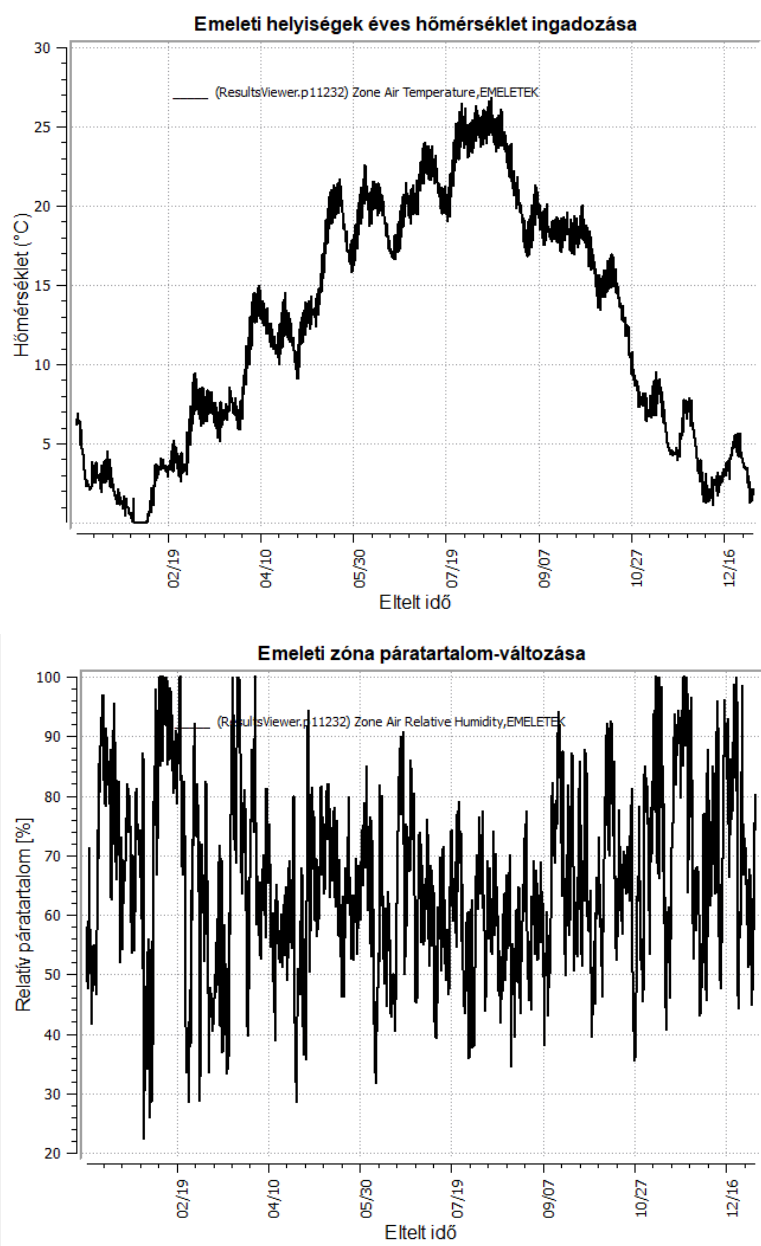
Beállítás **Fűtés nélkül**
Fal víztartalma **Száraz**
Számított éves energiaigény -



Fő használati terünk a templom főhajója. Az első futtatás alkalmával a falakat száraznak tekintettük. A hőmérsékleti grafikon februárban 5°C alá esik, ez egy kritikus időszak. A modellünkben száraz falakat feltételeztünk, de a valóságban mindig van a falazatnak víztartalma, így a fagykár kockázata ebben az időszakban jelentős.

A páragörbe nagy kilengésű, de mivel semmilyen rendszerrel nem szabályozzuk ez nem is meglepő.

Az egész épületet vizsgálva a templom bejárata és az e fölött elhelyezkedő helyiségek paramétereinél a hűvös periódus jobban kitolódik, a páratartalom is eléri a 100%-ot. Jól látható, hogy az épület beavatkozást igényel.



A grafikonokból leolvasható, hogy a nyári túlmelegedés kockázata nem jelentős, viszont a téli hónapokban a fagyási veszély jóval nagyobb, mint a templom esetében.

Ezek után futtattuk a többi beállított víztartalommal a szimulációt, de fűtést továbbra sem definiáltunk. Az eredmények hasonlóan alakultak, mint az előbb ismertetett esetben, ezért nem is tartjuk őket bemutatásra érdemesnek. Az általunk legnagyobb gondolt vizesedési eset eredményeivel folytatnánk.

3.2. Szimuláció_2

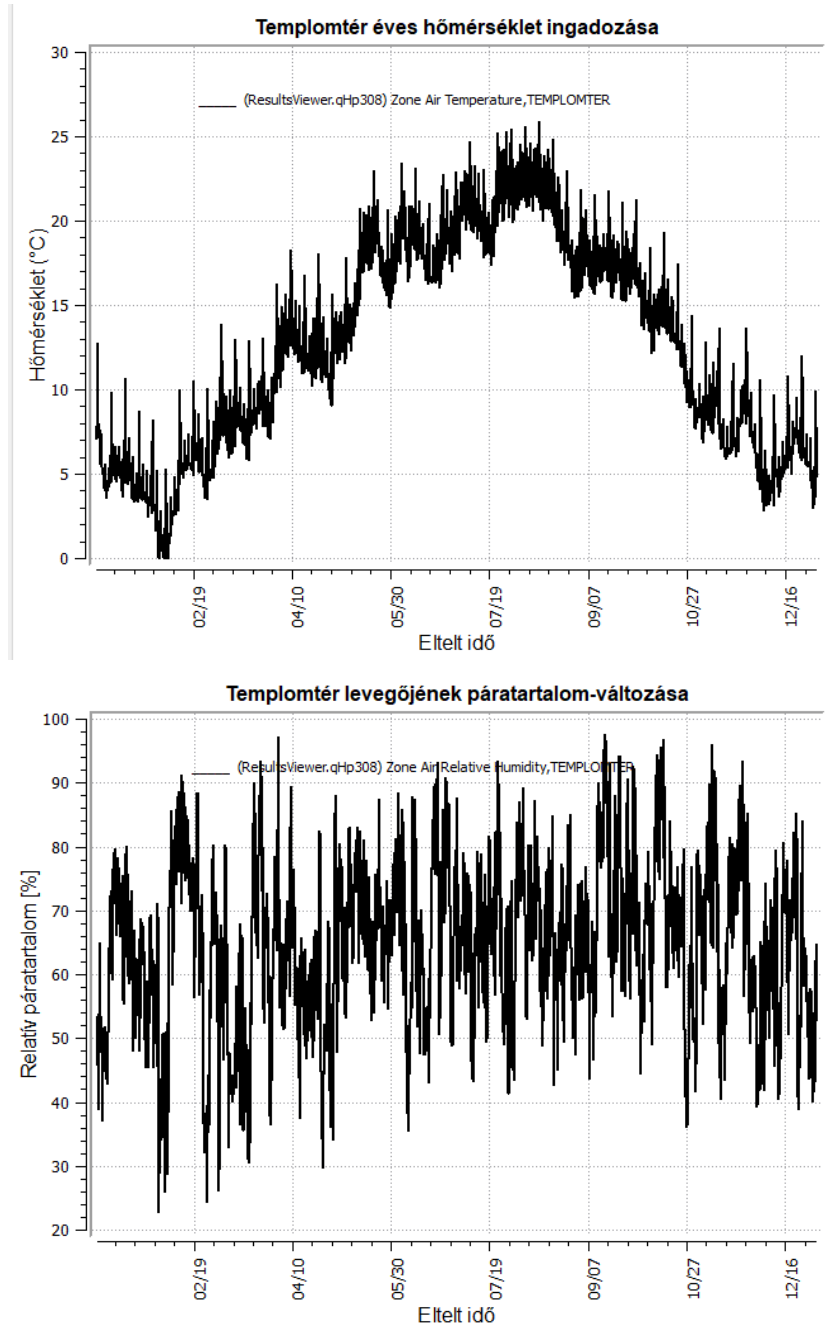
Beállítás

Fűtés nélkül

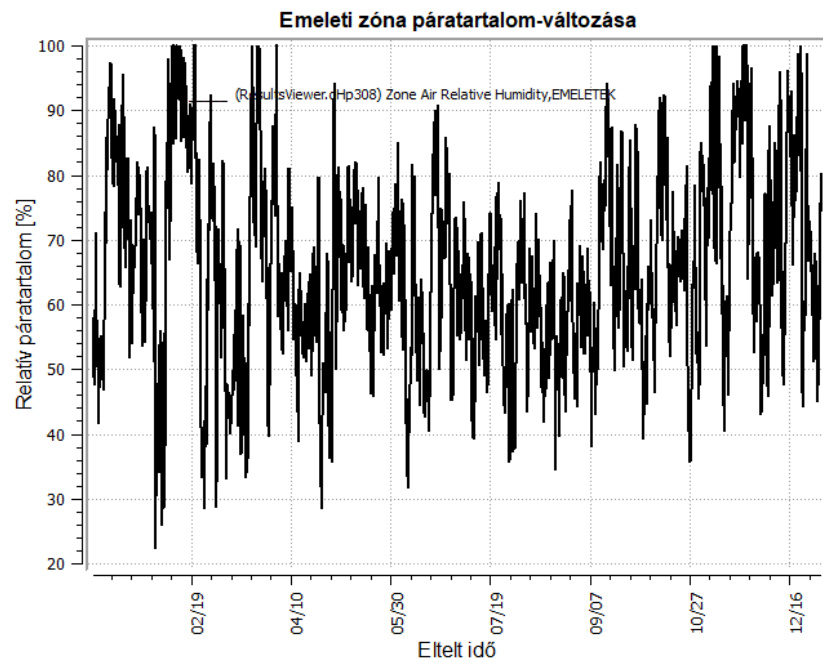
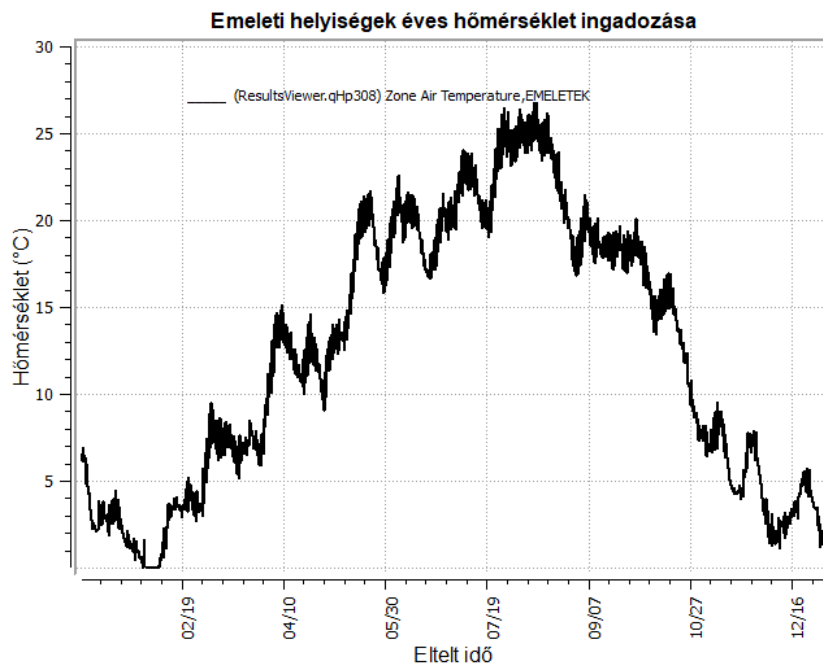
Fal víztartalma

Legvizesebb

Számított éves energiaigény -



Jól látható, hogy a két grafikon sem jellegében, sem csúcserkéiben nem különbözik egymástól. Az egész épületet tekintve az előző szimulációban a torony alatt lévő terek paraméterei voltak a legaggasztóbbak. Ezek a paraméterek szintén nem változtak jelentősen, hiszen a víztartalom változását a lábazati zónában modelleztük, így annak direkt kihatása nem volt ezekre a helyiségekre. Az indirekt befolyás nem számottevő.



A vizsgálatot a továbbiakban egy olyan fűtési rendszer betáplálásával folytattuk, ami a szer-tartások rendjéhez igazodik a következők szerint:

Menetrend neve: **Templom_futes** (*templomtér, oratórium, előtér*)

Keddi napokon

Vizsgálati időszak: 01/01 12/31

Menetrend: 00-16 óra: 0 °C
16-19 óra: 15 °C
19-24 óra 0 °C

Csütörtöki napokon

Vizsgált időszak: 01/01 12/31

Menetrend: 00-17 óra: 0 °C
17-20 óra: 15 °C
20-24 óra 0 °C

Szombati napokon

Vizsgált időszak: 01/01 12/31

Menetrend: 00-17 óra: 0 °C
17-19 óra: 15 °C
19-24 óra 0 °C

Vasárnapi napokon

Vizsgált időszak: 01/01 12/31

Menetrend: 00-9:30 óra: 0 °C
9:30-11:30 óra: 15 °C
11:30-19 óra: 0 °C
19-21 óra: 15 °C
21-24 óra: 0 °C

Menetrend neve: **Sekrestye_futes** (*sekrestye, folyosók, WC*)

Keddi napokon

Vizsgált időszak: 01/01 12/31

Menetrend: 00-16 óra: 0 °C
16-19 óra: 18 °C
19-24 óra 0 °C

Csütörtöki napokon

Vizsgált időszak: 01/01 12/31

Menetrend: 00-17 óra: 0 °C
17-20 óra: 18 °C
20-24 óra 0 °C

Szombati napokon

Vizsgált időszak: 01/01 12/31

Menetrend: 00-17 óra: 0 °C
17-19 óra: 18 °C

19-24 óra 0 °C

Vasárnapi napokon

Vizsgált időszak: 01/01 12/31

Menetrend: 00-09 óra: 0 °C

09-11:30 óra: 18 °C

11:30-19 óra: 0 °C

19-21 óra: 18 °C

21-24 óra: 0 °C

Menetrend neve: **Helyisegek_futes** (*emeleti helyiségek, kazánház helyiségek, raktárak*)

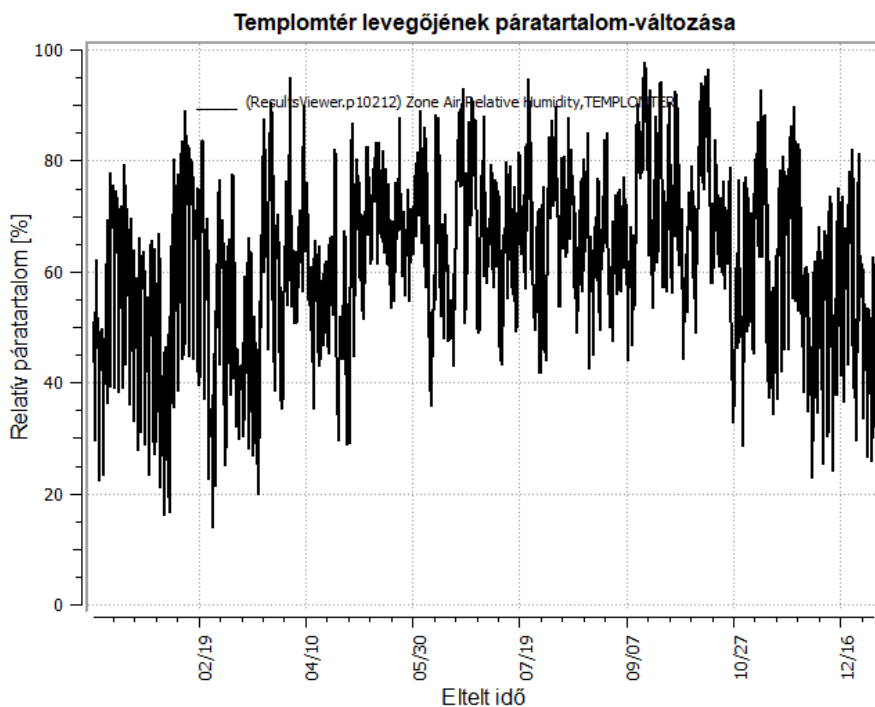
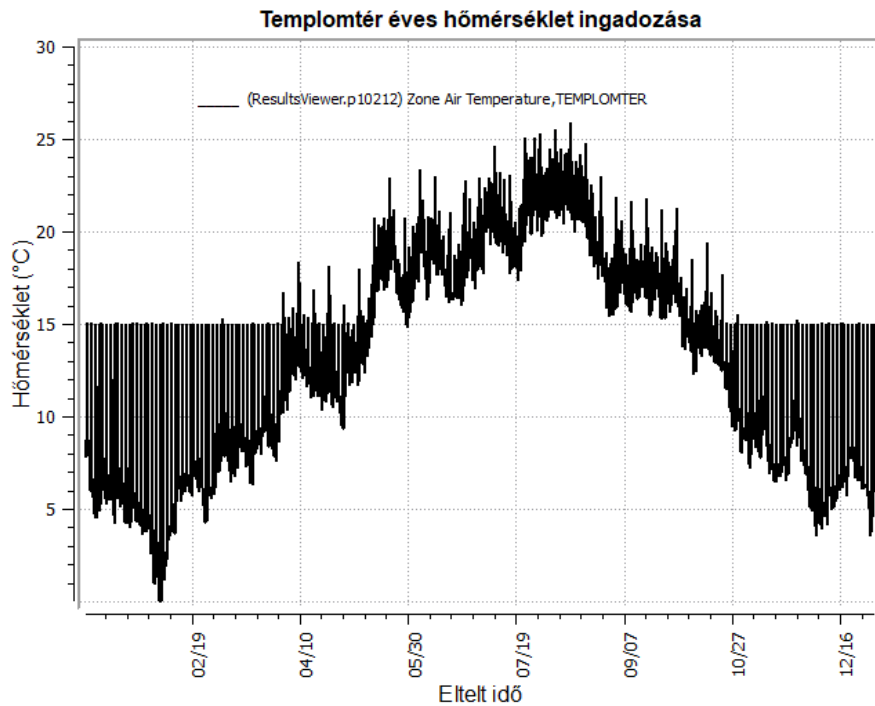
Fűtetlen terek

Menetrend neve: **Szomszed_futes** (*szomszéd*) *Állandó 18°C-os fűtést állítottunk be*

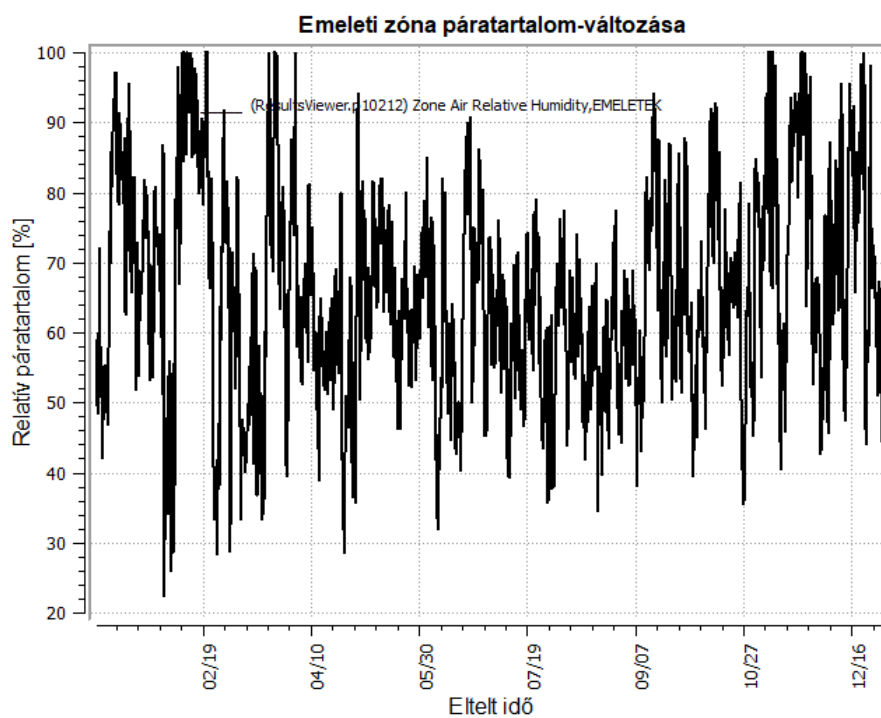
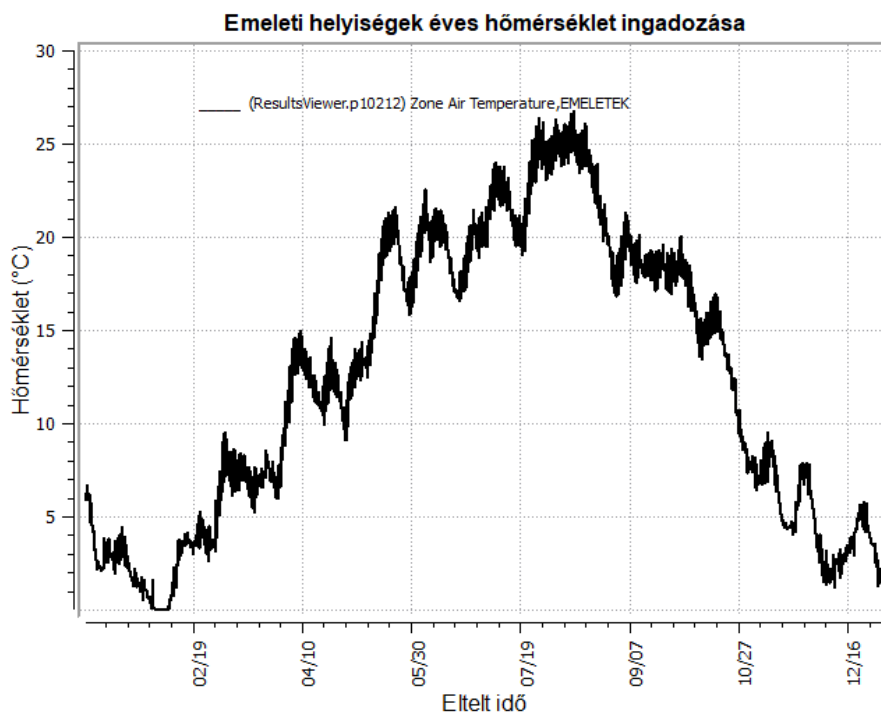
3.3. Szimuláció_3

Beállítás **Fűtés menetrendek szerint**
Fal víztartalma **Száraz**
Számított éves energiaigény **32.16 GJ (=89.33*10⁸ kWh)**

A szimulációt elvégeztük a fentebb említett 5 verzióban, de az eredmények közötti eltérés itt sem volt számottevő. Összehasonlításképp közöljük a száraz és a legvizesebb beállítások grafikonjait.

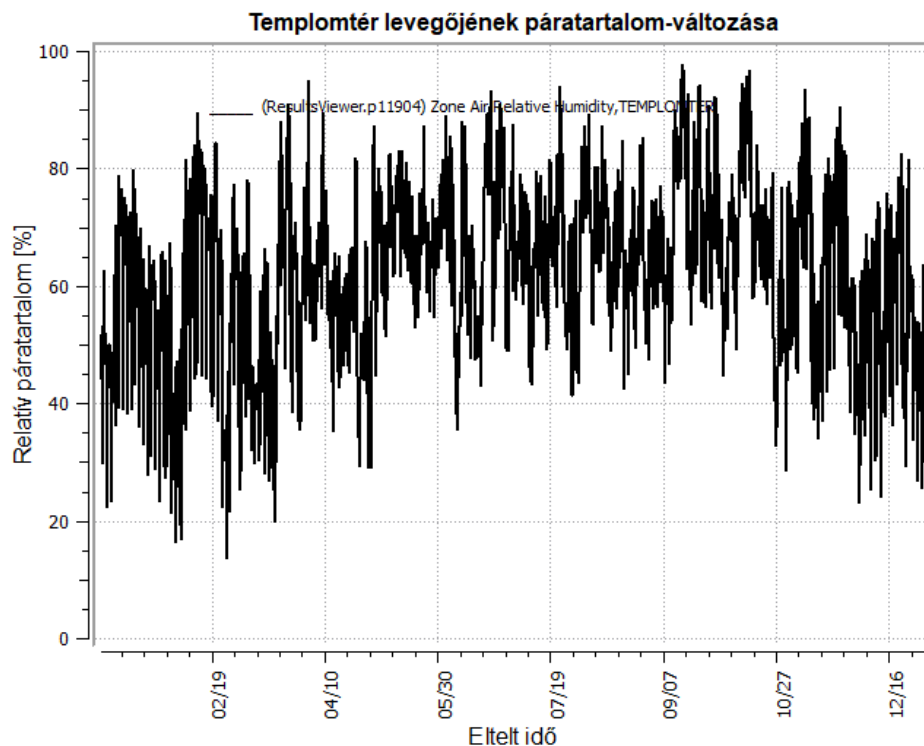
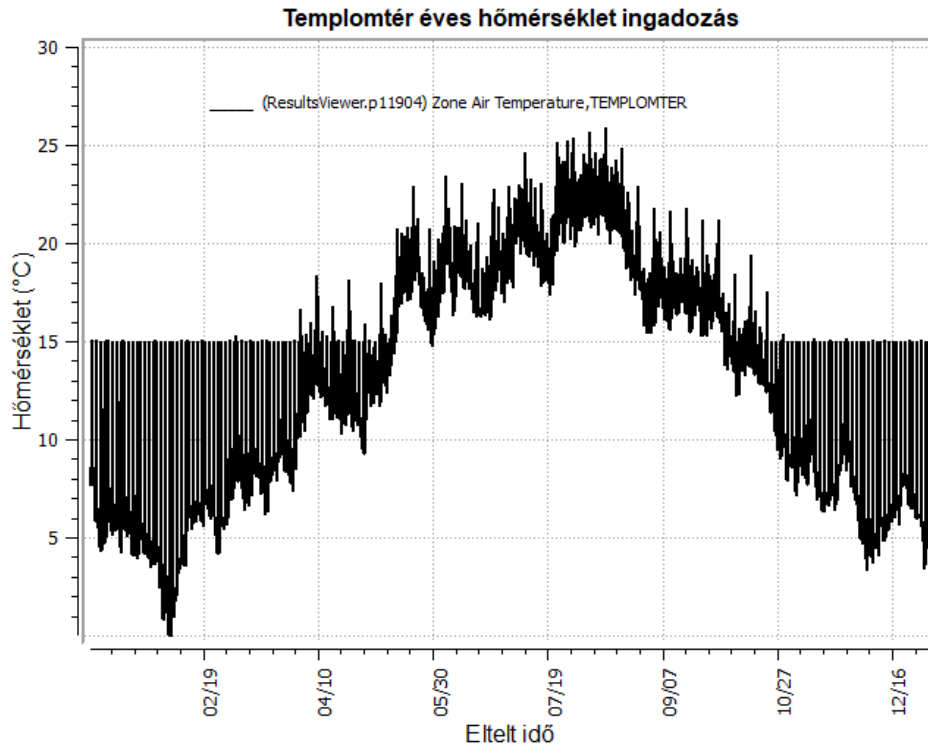


A görbék karakterisztikája és szélsőértékei az emeleti helyiségekben is változatlanok maradtak. Ott a menetrend szerint nem is volt fűtés, mert programokat sem szerveznek azokba a terekbe. Ezért a kondíciók most sem változtak.



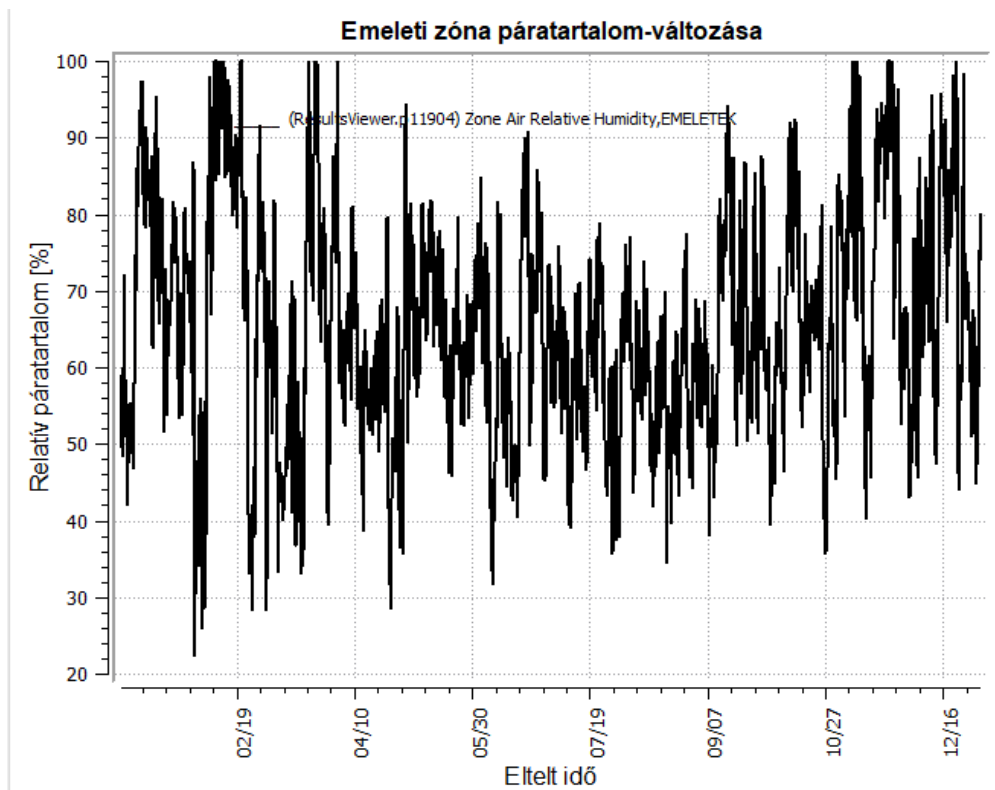
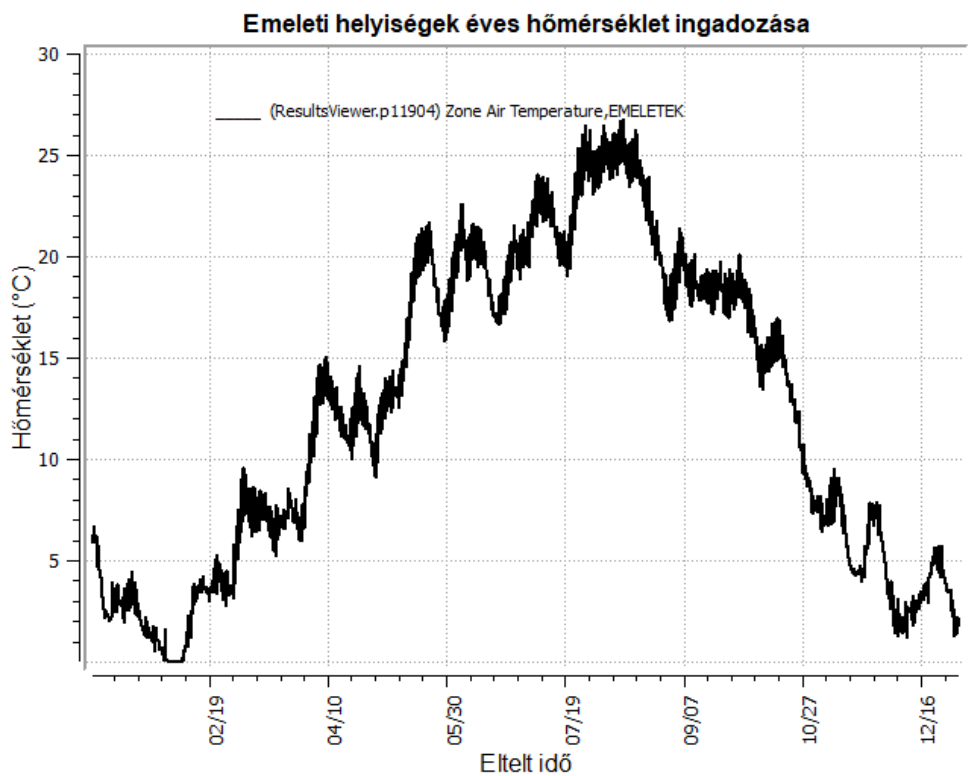
3.4. Szimuláció_4

Beállítás **Fűtés menetrendek szerint**
Fal víztartalma **Legvisebb**
Számított éves energiaigény **34.46 GJ (=95.72*10⁸ kWh)**



A 3-as és a 4-es szimuláció eredményei között összenergia igényben 7%-os különbség van, ez azt jelenti, hogy az egész épületre nézve 7 %-os többlet energia befektetés szükséges akkor,

ha a falaink víztartalma egész évben magas. A görbék karakterisztikája és csúcstértékei változatlank, így ez a többlet eloszlik. Az emeleti kritikus helyiségeknél sincs nagy változás:

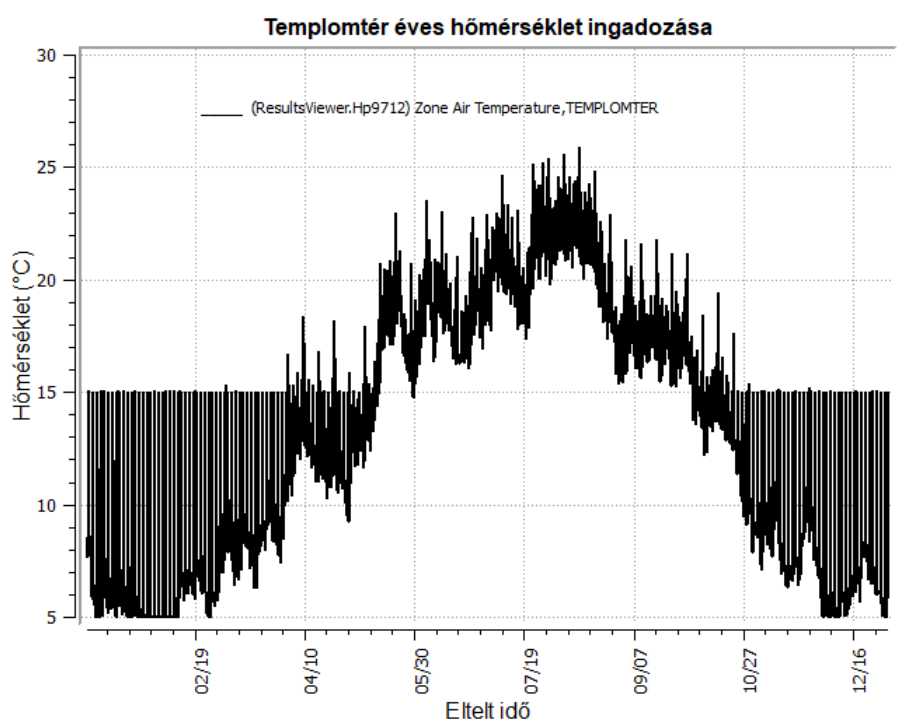


3.5. Szimuláció_5

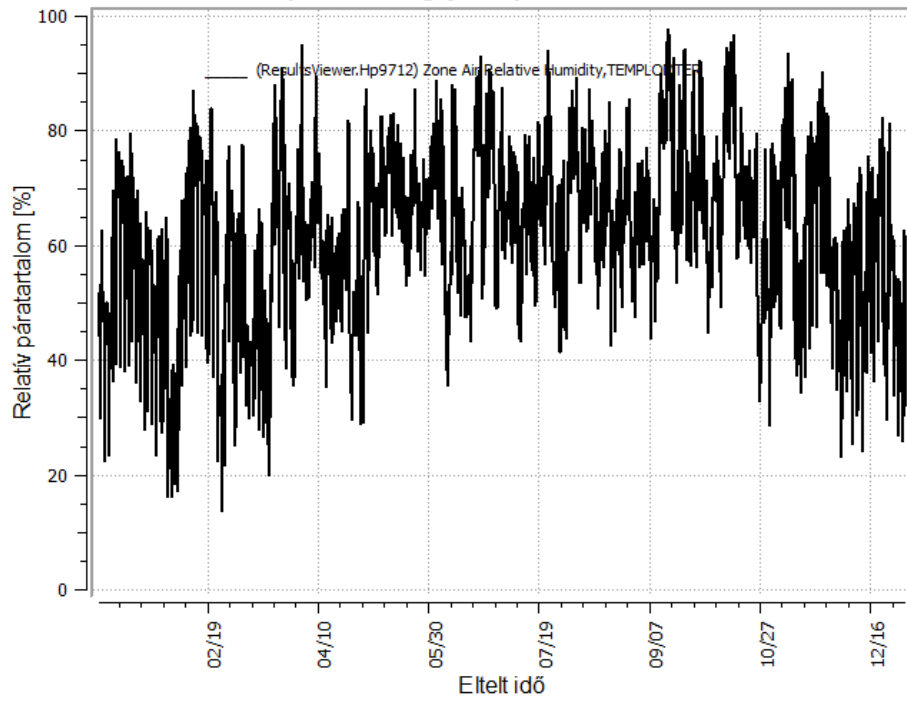
Gondolataink továbbviteleként megnéztük, hogy a legvizesebb állapotban mennyit számítana, ha azt feltételeznénk, hogy minden helyiséget 5°C-os alapfűtéssel látunk el.

Beállítás **Fűtés menetrendek szerint, 5°C-os alapfűtéssel**
Fal víztartalma **Legvizesebb**
Számított éves energiaigény **48.11 GJ (=95.72*10⁸ kWh)**

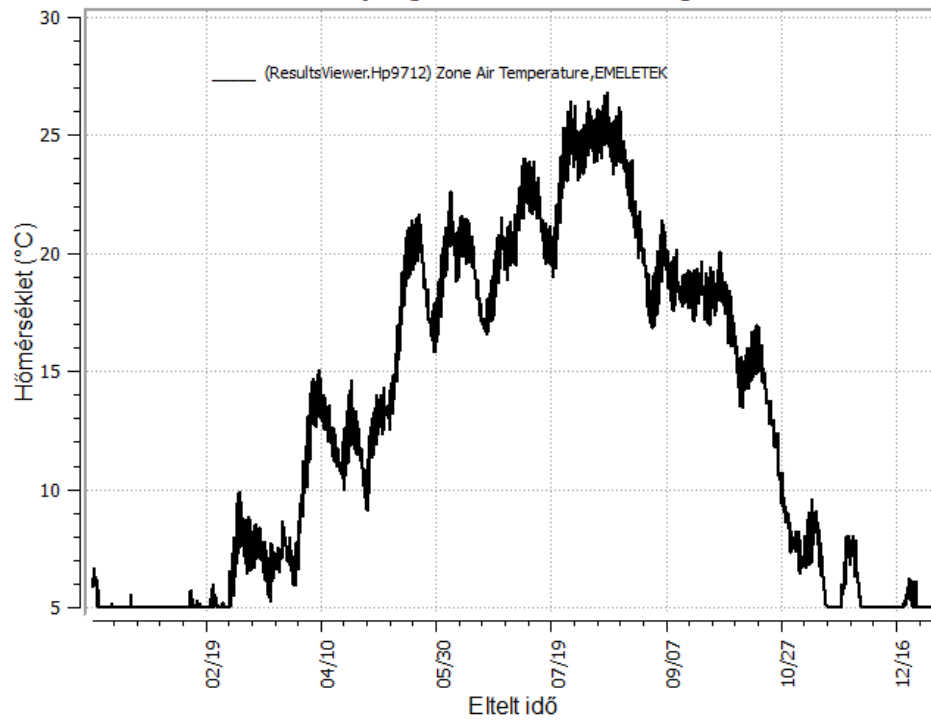
Az új fűtési rendszer 13.65 GJ többlet energiát vitt a rendszerbe, ez majdnem 150%-os növekedés, a következő eredményeket kaptuk a zónákban:

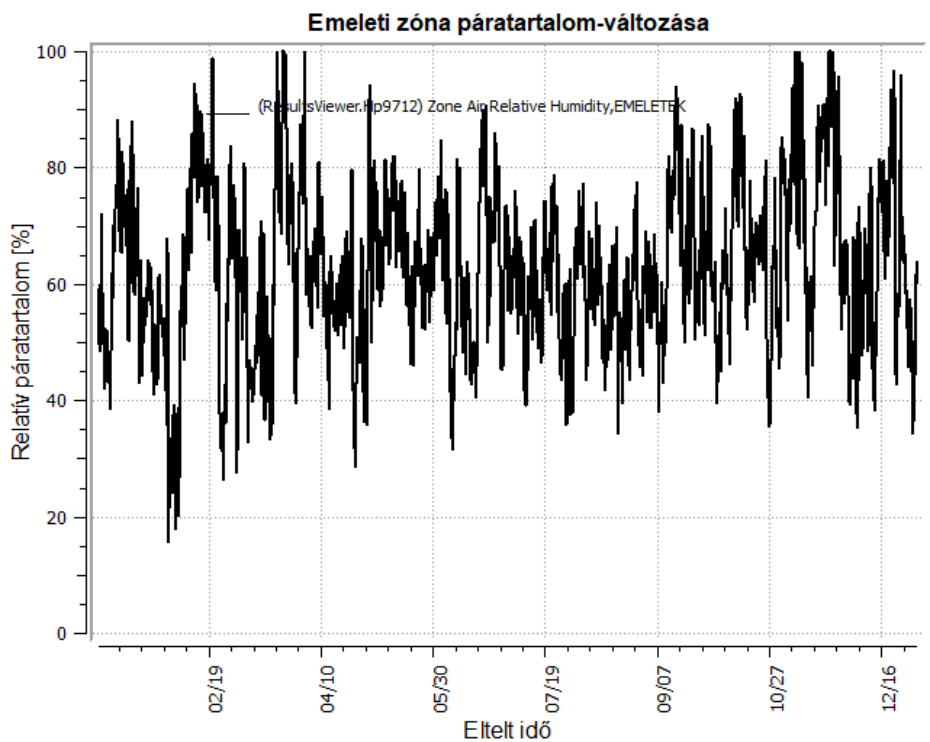


Templomtér levegőjének páratartalom-változása



Emeleti helyiségek éves hőmérséklet ingadozása





A grafikonokból látszik, hogy a fűtés beállítás változtatása hőmérsékleti problémát megoldja, a páratechnikai kérdésekre azonban nem kínál megoldást. Így e téren további vizsgálatokra van szükség.

3.6. Konklúzió

Eredményeink ismeretében kijelenthető, hogy az általunk vizsgált templomépület esetében a falazatok víztartalmának az energetikára kevesebb hatása van, mint azt előzetesen gondoltuk. A 3. és a 4. szimuláció közötti 7%-os energiaszükség-különbség nem olyan jelentős mint az esetleges helyi károsodások lehetnek, amik az épület állékonyságát, a vizes területeken gombák elszaporodását okozhatják, így betegítve az épületet és az embereket.

A dolgozatunk fejlesztését több irányba is meg lehetne kezdeni.

- Lehetne vizsgálni azokat a pontokat, ahol az épület a legnagyobb valószínűséggel van kitéve vizesedésnek és az ebből származó helyi károkat és kockázatokat is lehetne értékelni.
- A modellben más geometriai közelítésekkel is lehetne futtatni a szimulációt
- Helyszíni mérésekkel lehetne igazolni vagy cáfolni az általunk feltételezett vizesedést, hővezetési tényezőket.
- Javaslatot adhatunk az épület korszerűsítési megoldásaira épületszerkezeti és épületgépészeti téren úgy, hogy szimuláljuk lehetséges hatásait

4. Tézis válasz

Dolgozatunk elején feltételeztük, hogy az idő múlásával az épületszerkezetben bekövetkező nedvesedés hatása az épület energetikai viszonyaira jelentős lehet, így a tervezésnél, üzemeltetésnél figyelembe kell venni, nem elégséges az építőanyag katalógus adataival számolni.

Az általunk elvégzett szimulációk eredményei az adott feltételekre vonatkozóan (épületgeometria, elhelyezkedés, anyagok, nedvesedés, stb.) ezen tézisünket megcáfolták. A szükséges fűtési energia változás elhanyagolható mértékű. Ebben az esetben lehetséges a tézisben megfogalmazott elhanyagolással élni.

5. Hivatkozások

- [1] V. Épületszerkeztani konferencia – Épületfizika; Budapest, 2014. – Dr Fülöp Zsuzsanna – Kereszetssy Éva: Tervezett és beépített épületszerkezetek teljesítményjellemzőinek összefüggései
- [2] Kirchknopf Márton: A szombathelyi Jézus Szíve (Zárda) templom fűtési és légtechnikai rendszereinek tervezése. Budapest, 2017. DiplomatervezésA
- [3]
- [4] Környei Tamás: Hőátvitel. Egyetemi jegyzet, Műegyetemi Kiadó
- [5] *A Hőátvitel tantárgy előadásai. Környei Tamás, 2016*
- [6] RECKNAGEL et al. (2000): Fűtés és klimatechnika 2000. Dialóg Campus Kiadó, Budapest-Pécs
- [7] .
- [8] Déry Attila (2004): Történeti szerkeztan. TERC
- [9] Pattantyús Ábrahám Ádám (2013): Épületrehabilitáció – tartószerkezetek helyreállítása, átépítése és megerősítése. TERC
- [10]
- [11]

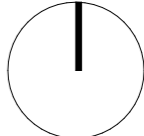
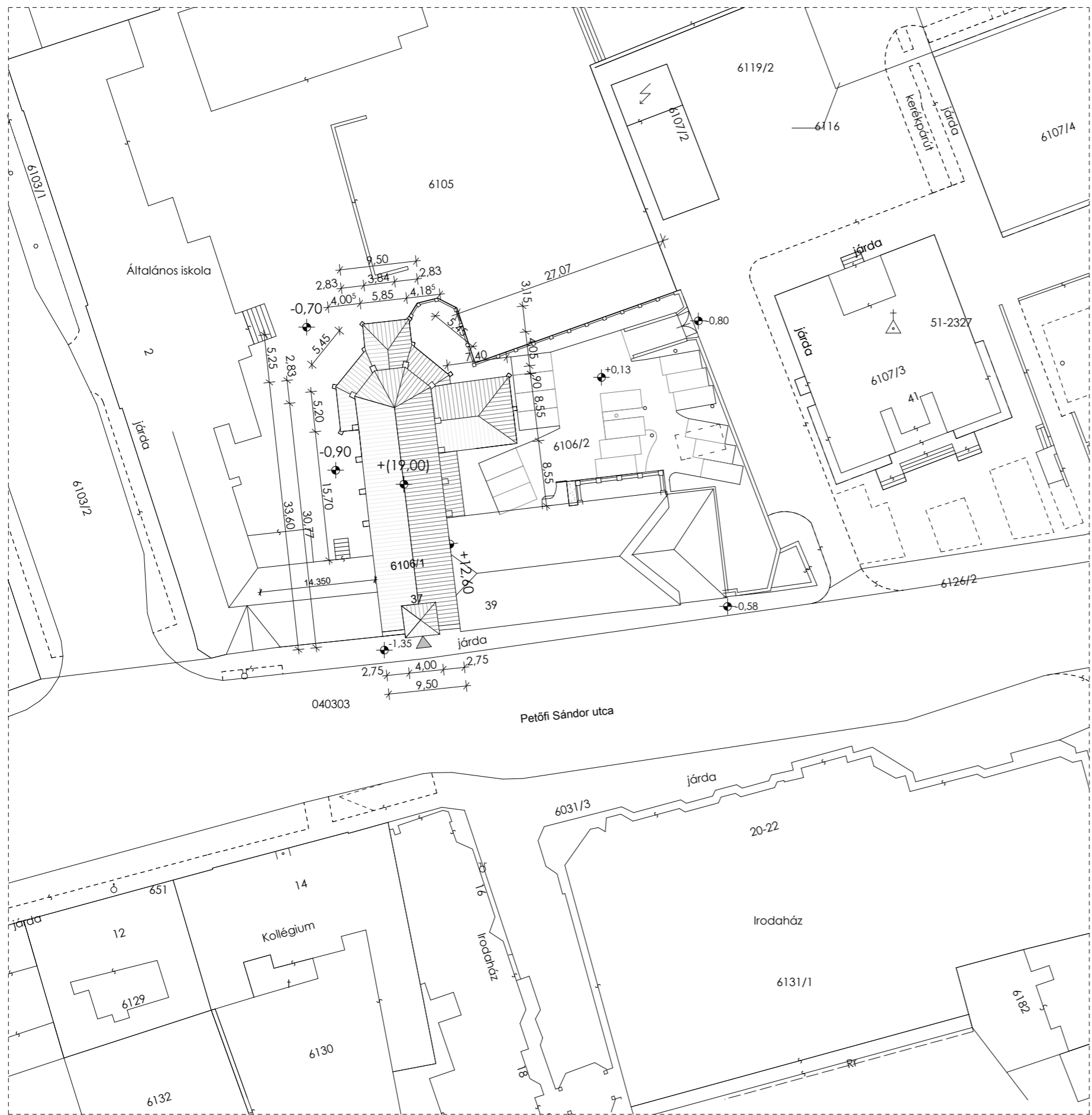
6. Mellékletek

6.1. Építészrajzok

6.2. Fotódokumentáció

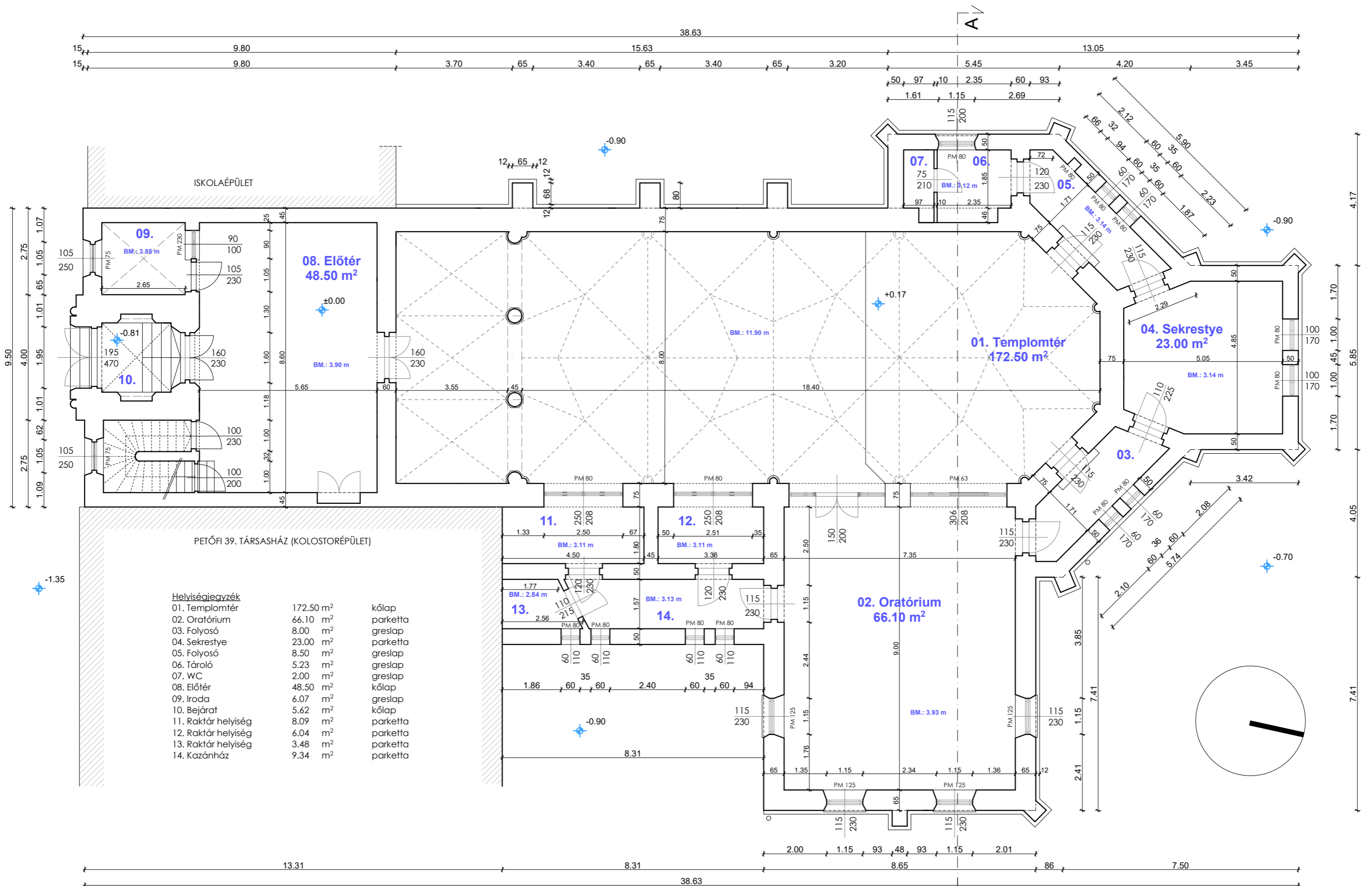
6.3. Emberek menetrendje

Lásd " TDK Melléklet - Emberek menetrendje.pdf" fájlt.



A templom digitális terveit Tölgyesi Ernőné /É/1 18-0064/ készítette. Ezen terveket Kirchknopf Márton és Szabó Bálint dolgozta át, aktualizálta, miután felmérték az épületet.

Helyszínrajz - M=1:500

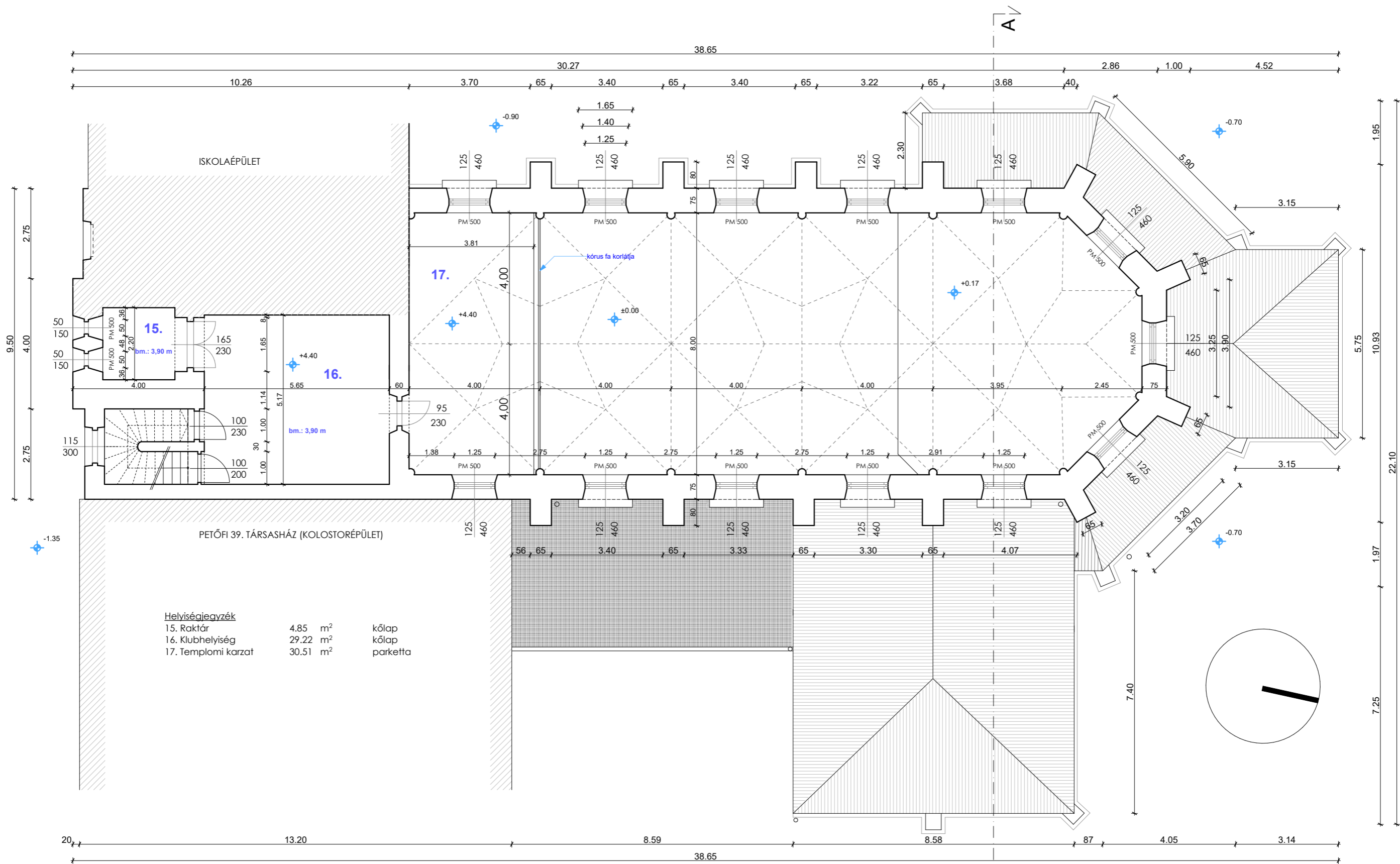


Helyiségjegyzék

01. Templomtér	172.50 m ²	kőlap
02. Oratórium	66.10 m ²	parketta
03. Folyosó	8.00 m ²	greslap
04. Sekrestye	23.00 m ²	parketta
05. Folyosó	8.50 m ²	greslap
06. Tároló	5.23 m ²	greslap
07. WC	2.00 m ²	greslap
08. Előtér	48.50 m ²	kőlap
09. Iroda	6.07 m ²	greslap
10. Bejárat	5.62 m ²	kőlap
11. Raktár helyiség	8.09 m ²	parketta
12. Raktár helyiség	6.04 m ²	parketta
13. Raktár helyiség	3.48 m ²	parketta
14. Kazánház	9.34 m ²	parketta

A templom digitális terveit Tölgyesi Ernőné /É/1 18-0064/ készítette. Ezen terveket Kirchknopf Márton és Szabó Bálint dolgozta át, aktualizálta, miután felmérték az épületet.

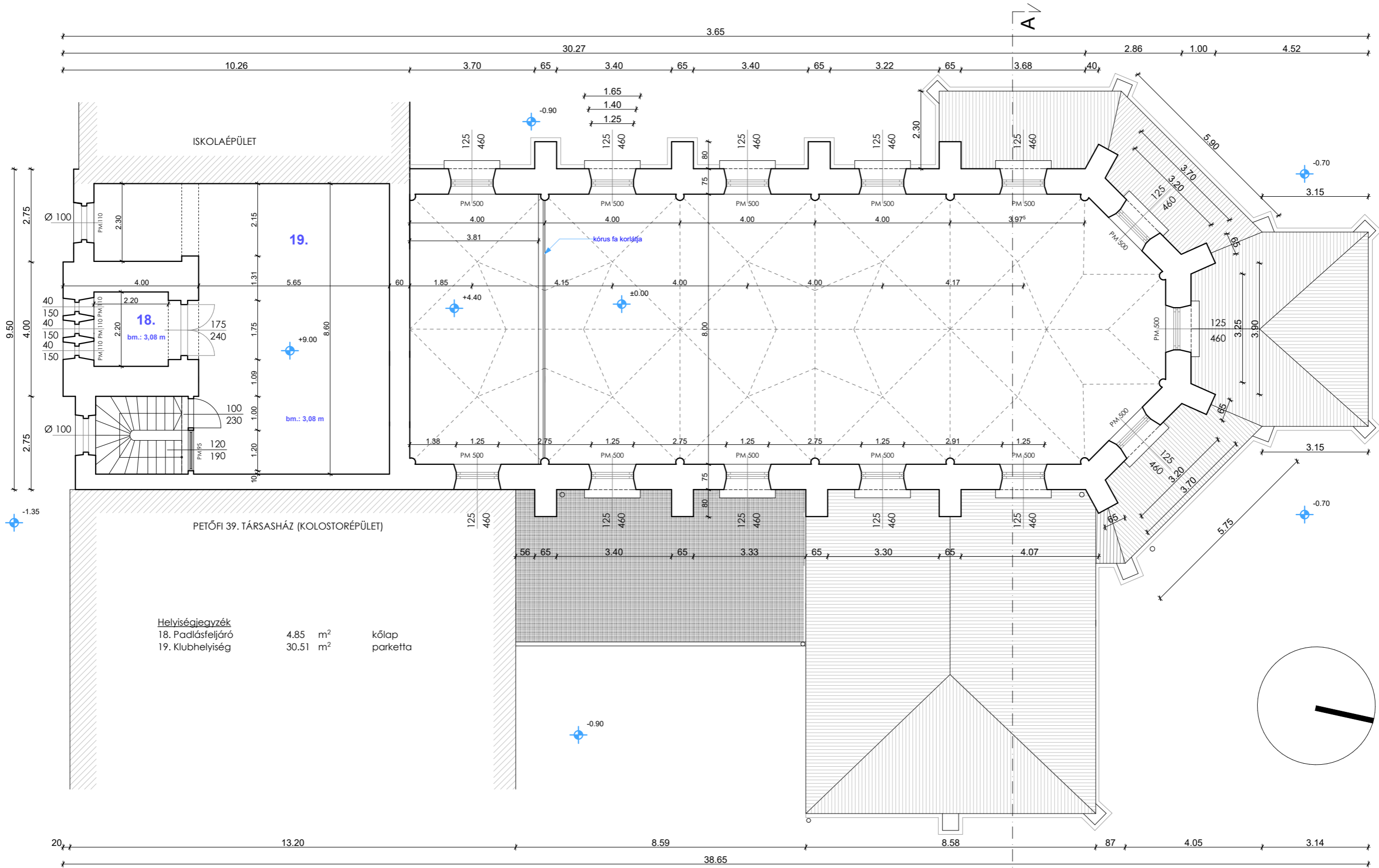
Földszinti alaprajz - M=1:100



Helységjegyzék

15. Raktár	4.85 m ²	kőlap
16. Klubhelyiség	29.22 m ²	kőlap
17. Templomi karzat	30.51 m ²	parketta

A templom digitális terveit Tölgyesi Ernőné /É/1 18-0064/ készítette.
Ezen terveket Kirchknopf Márton és Szabó Bálint dolgozta át,
aktualizálta, miután felmérték az épületet.



A templom digitális terveit Tölgyesi Ernőné /É/1 18-0064/ készítette.
Ezen terveket Kirchknopf Márton és Szabó Bálint dolgozta át,
aktualizálta, miután felmérték az épületet.

Emeleti alaprajz - M=1:100

R1

- 2 cm hézagos deszkázat
- 5 cm homokfeltöltés
- 2 cm felső hézagléces borítás
- 24 cm gerendázat
- 2,5 cm stukatur vakolat

R2

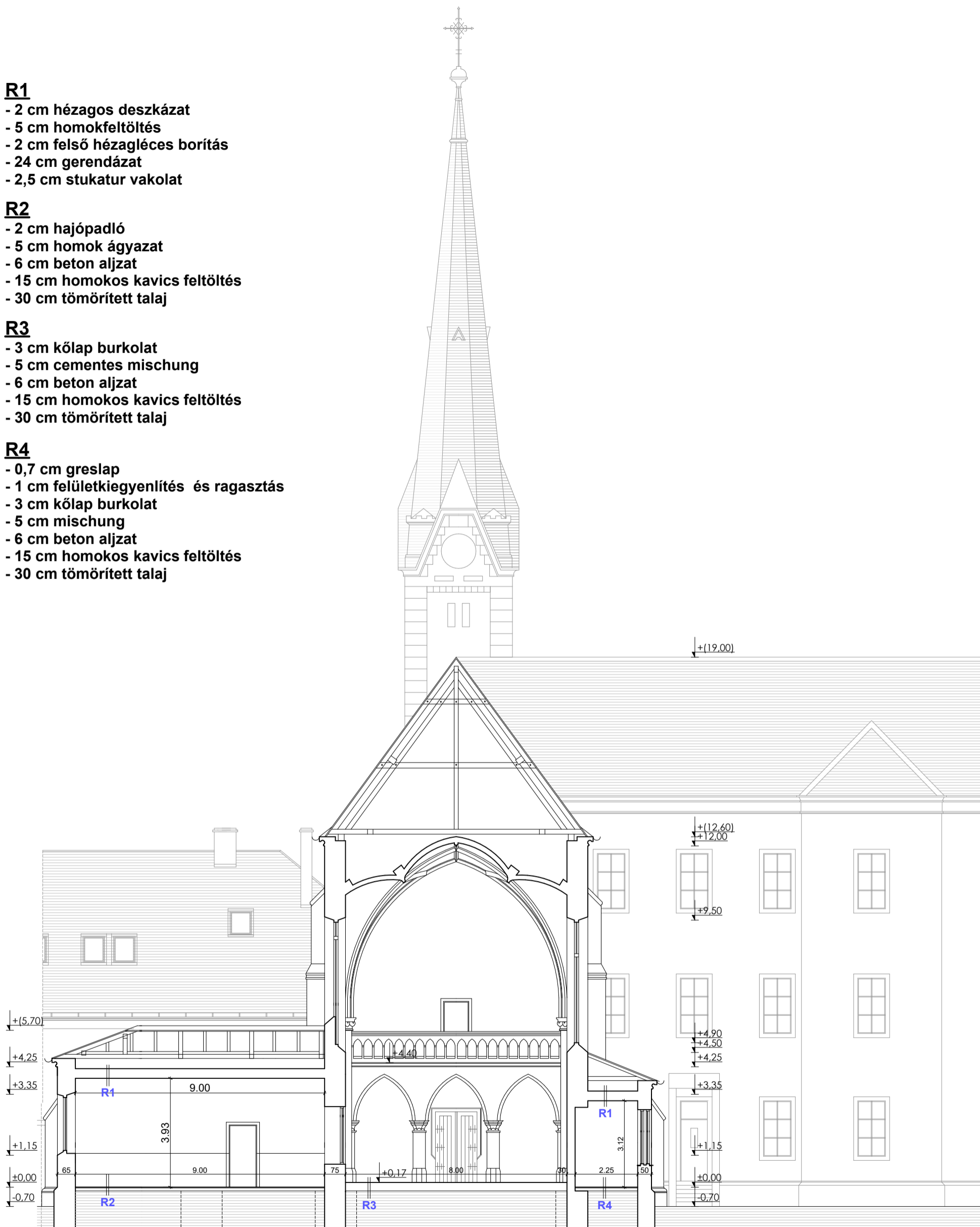
- 2 cm hajópadló
- 5 cm homok ágyazat
- 6 cm beton aljzat
- 15 cm homokos kavics feltöltés
- 30 cm tömörített talaj

R3

- 3 cm kőlap burkolat
- 5 cm cementes Mischung
- 6 cm beton aljzat
- 15 cm homokos kavics feltöltés
- 30 cm tömörített talaj

R4

- 0,7 cm greslap
- 1 cm felületkiegyenlítés és ragasztás
- 3 cm kőlap burkolat
- 5 cm Mischung
- 6 cm beton aljzat
- 15 cm homokos kavics feltöltés
- 30 cm tömörített talaj



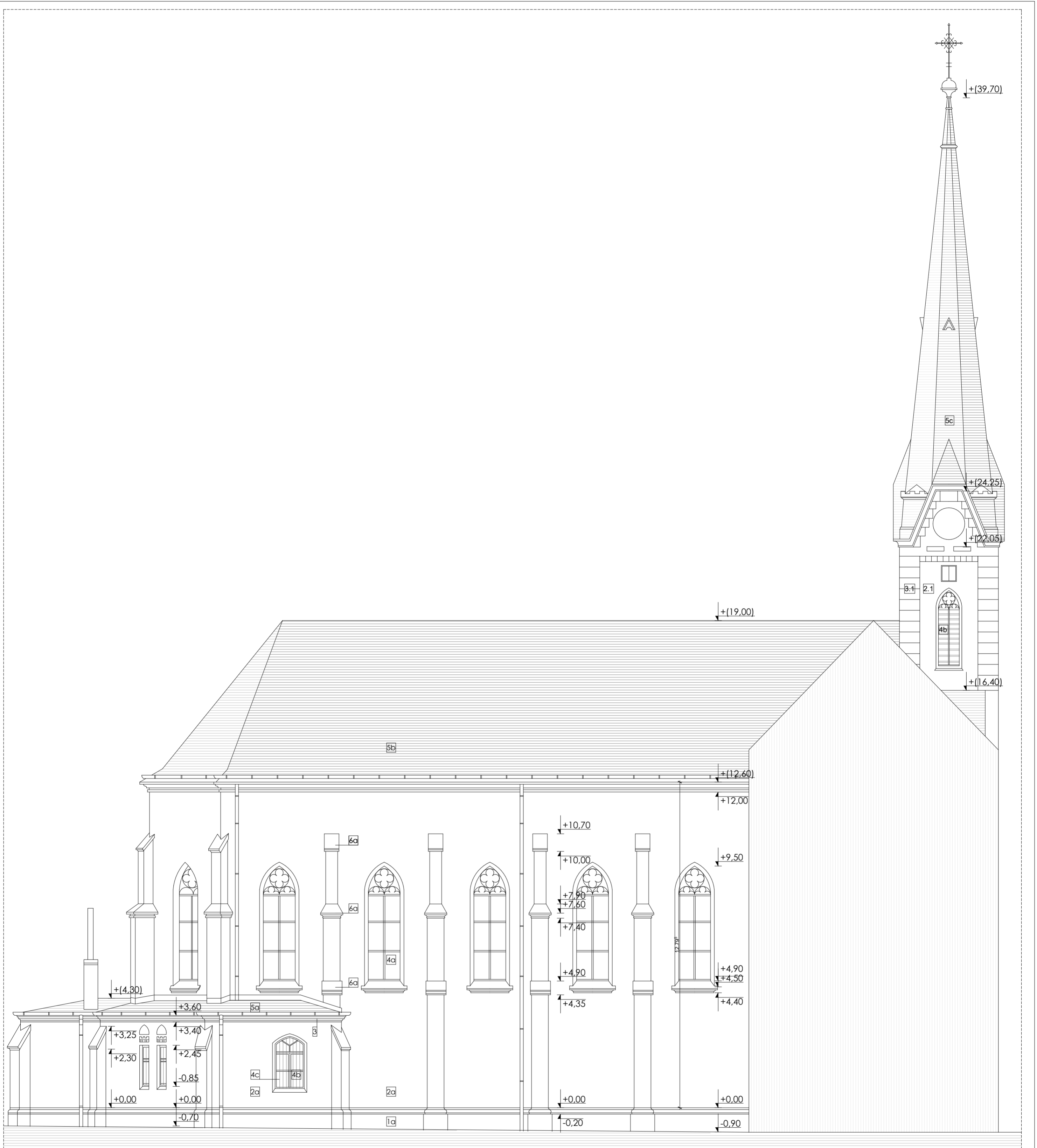
A templom digitális terveit Tölgyesi Ernőné /É/1 18-0064/ készítette. Ezen terveket Kirchknopf Márton és Szabó Bálint dolgozta át, aktualizálta, miután felmérték az épületet.

Metszet - M=1:100



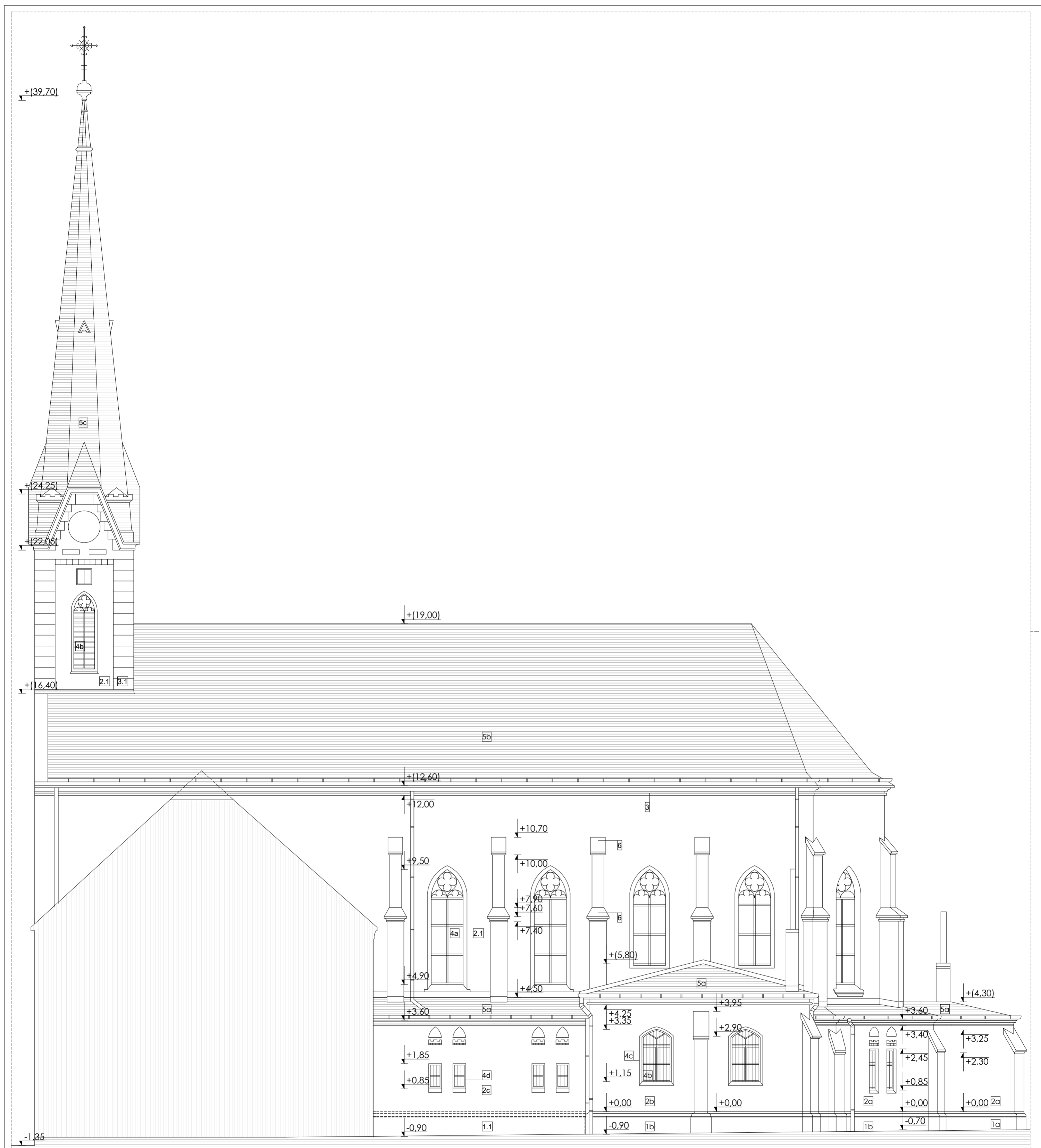
A templom digitális terveit Tölgyesi Ernőné /É/1 18-0064/ készítette. Ezen terveket Kirchknopf Márton és Szabó Bálint dolgozta át, aktualizálta, miután felmérték az épületet.

Déli homlokzat - M=1:100



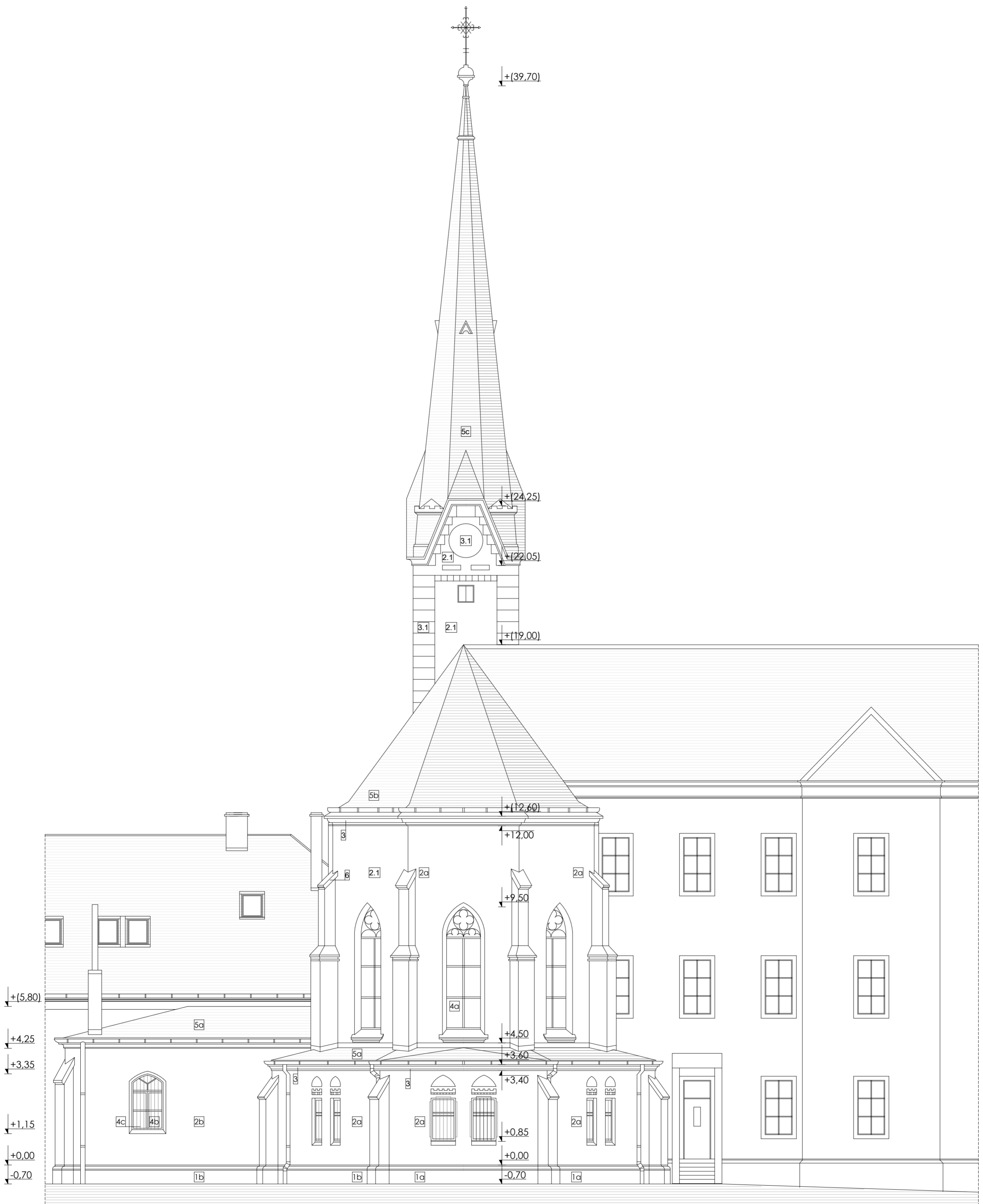
A templom digitális terveit Tölgyesi Ernőné /É/1 18-0064/ készítette. Ezen terveket Kirchnopf Márton és Szabó Bálint dolgozta át, aktualizálta, miután felmérték az épületet.

Nyugati homlokzat - M=1:100



A templom digitális terveit Tölgyesi Ernőné /É/1 18-0064/ készítette. Ezen terveket Kirchknopf Márton és Szabó Bálint dolgozta át, aktualizálta, miután felmérték az épületet.

Keleti homlokzat - M=1:100



A templom digitális terveit Tölgyesi Ernőné /É/1 18-0064/ készítette. Ezen terveket Kirchknopf Márton és Szabó Bálint dolgozta át, aktualizálta, miután felmérték az épületet.

Északi homlokzat - M=1:100

Menetrend neve: **Templomter_emberek***(templomtér)*

Nap	Időpont	Fő
Hétfő	0-24	0 fő
Kedd	0-16:30	0 fő
	16:30-18	15 fő
	18-19	50 fő
	19-24	0 fő
Szerda	0-24	0 fő
Csütörtök	0-17:30	0 fő
	17:30-18	15 fő
	18-19	50 fő
	19-20	15 fő
	20-24	0 fő
Péntek	0-24	0 fő
Szombat	0-17:30	0 fő
	17:30-18	30 fő
	18-19	180 fő
	19-24	0 fő
Vasárnap	0-10	0 fő
	10-10:30	50 fő
	10:30-11:30	200 fő
	11:30-12	15 fő
	12-19:30	0 fő
	19:30-20	15 fő
	20-21	100 fő
	21-24	0 fő

Menetrend neve: **Bejarat_emberek** (bejarat)

Nap	Időpont	Fő
Hétfő	0-24	0 fő
Kedd	0-16:30	0 fő
	16:30-18	2 fő
	18-18:45	0 fő
	18:45-19	2 fő
	19-24	0 fő
Szerda	0-24	0 fő
Csütörtök	0-17:30	0 fő
	17:30-18	2 fő
	18-18:45	0 fő
	18:45-19	1 fő
	19-20	0 fő
	20-20:15	2 fő
20-24	0 fő	
Péntek	0-24	0 fő
Szombat	0-17:30	0 fő
	17:30-18	3 fő
	18-19	0 fő
	19-19:15	3 fő
19:15-24	0 fő	
Vasárnap	0-10	0 fő
	10-10:30	3 fő
	10:30-11:30	0 fő
	11:30-12	3 fő
	12-19:30	0 fő
	19:30-20	2 fő
	20-21	0 fő
	21-21:15	2 fő
21:15-24	0 fő	

Menetrend neve: **Eloter_emberek** (előtér)

Nap	Időpont	Fő
Hétfő	0-24	0 fő
Kedd	0-16:30	0 fő
	16:30-18	2 fő
	18-18:45	5 fő
	18:45-19	2 fő
	19-24	0 fő
Szerda	0-24	0 fő
Csütörtök	0-17:30	0 fő
	17:30-18	2 fő
	18-18:45	5 fő
	18:45-19	1 fő
	19-20	0 fő
	20-20:15	2 fő
20-24	0 fő	
Péntek	0-24	0 fő
Szombat	0-17:30	0 fő
	17:30-18	3 fő
	18-19	10 fő
	19-19:15	3 fő
	19:15-24	0 fő
Vasárnap	0-10	0 fő
	10-10:30	3 fő
	10:30-11:30	15 fő
	11:30-12	3 fő
	12-19:30	0 fő
	19:30-20	2 fő
	20-21	10 fő
	21-21:15	30 fő
21:15-24	0 fő	

Menetrend neve: **Sekrestye_emberek** (sekrestye és a két folyosó)

Nap	Időpont	Fő
Hétfő	0-24	0 fő
Kedd	0-16:30	0 fő
	16:30-18	2 fő
	18-18:45	0 fő
	18:45-19	2 fő
	19-24	0 fő
Szerda	0-24	0 fő
Csütörtök	0-17:30	0 fő
	17:30-18	2 fő
	18-18:45	0 fő
	18:45-19	2 fő
	19-20	0 fő
	20-20:15	2 fő
20-24	0 fő	
Péntek	0-24	0 fő
Szombat	0-17:30	0 fő
	17:30-18	2 fő
	18-19	0 fő
	19-19:15	2 fő
	19:15-24	0 fő
Vasárnap	0-10	0 fő
	10-10:30	3 fő
	10:30-11:30	0 fő
	11:30-12	3 fő
	12-19:30	0 fő
	19:30-20	2 fő
	20-21	0 fő
	21-21:15	2 fő
21:15-24	0 fő	

















