

# Lakóház szerkezeti méretezése

## Structural design of a residential building

SEBESTYÉN Ábel

Kolozsvári Műszaki Egyetem, Építőmérnöki kar, Kolozsvár, Románia  
Tel.: +40740638483. E-mail: abels1998@gmail.com

**Vezető tanára:** dr. NAGY-GYÖRGY Tamás  
Temesvári Műszaki Egyetem, Építőmérnöki kar, Temesvár, Románia.  
Tel/fax: +40 256 403935. E-mail: tamas.nagy-gyorgy@upt.ro, www.ct.upt.ro

### Abstract

*The following paper presents the structural design steps for a residential house, considering the standards and building codes currently valid in Romania. This insight is realized through the eyes of a debutant civil engineer who has just completed a bachelor's degree, who is already an engineer, but still a student. A step-by-step presentation of the design process contains all the steps that a civil engineer goes through when designing similar structures, according to current practice. At the end of the paper, experiences gained through design and new areas of interest and research are formulated.*

### Kivonat

*Az alábbi dolgozat egy családi ház tartószerkezetének tervezési lépéseibe nyújt betekintést a Romániában jelenleg érvényes szabványok és építési kódok figyelembevételével. Ez a betekintés egy építőmérnöki alapképzést éppen befejező, már mérnök, de még diák szemüvegén keresztül valósul meg. Lépésről-lépésre bemutatva a tervezési folyamatot, melyről elmondható, hogy tartalmazza az összes olyan lépést, melyet a hasonló szerkezetek tervezésekor, a jelenlegi gyakorlat szerint, végigjár egy építőmérnök. A dolgozat zárásaként, a tervezés által szerzett tapasztalatok, illetve új érdeklődési-kutatási területek megfogalmazására kerül sor.*

**Kulcsszavak:** tartószerkezet tervezés, téglafalazat, szabványok

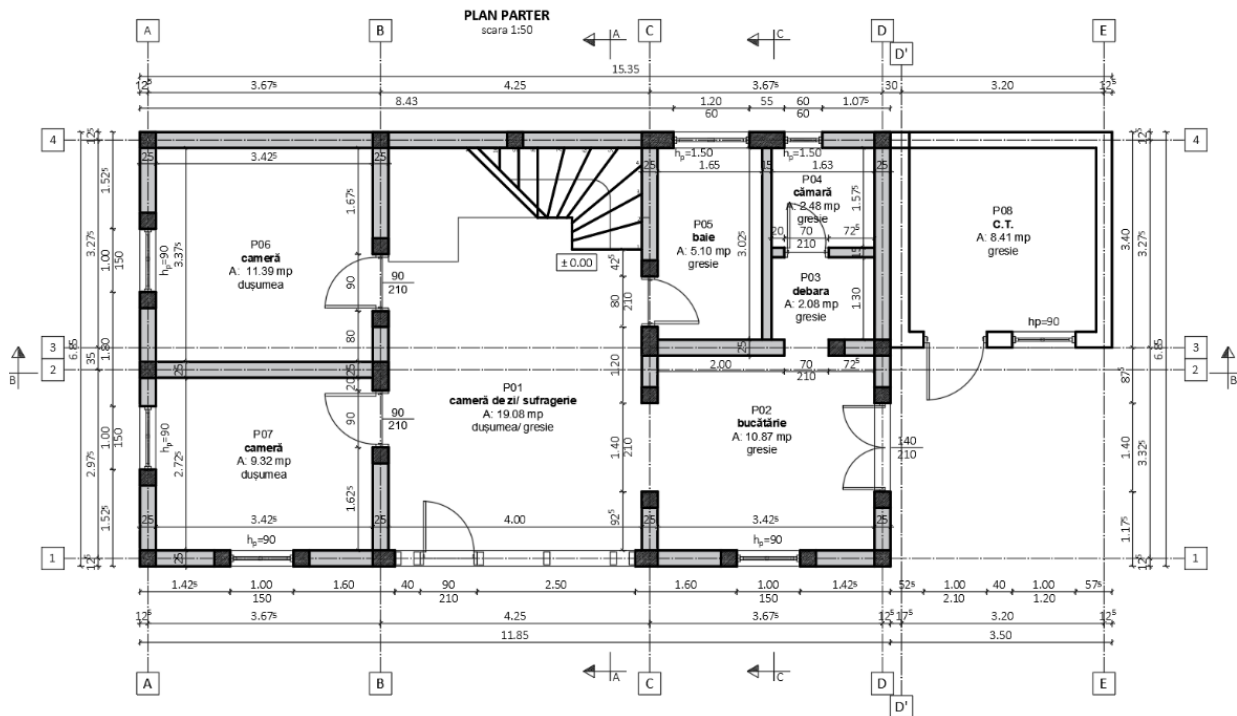
## 1. BEVEZETŐ

Egy tartószerkezet tervezése, legyen szó akár egy családi ház vagy egy többemeletes lakóépület szerkezetéről, az évtizedek során kialakult, a szabványok által meghatározott és a mérnökök által használt, valamint sok esetben egyszerűsített lépésekből áll. Az építőmérnöki alapképzésben résztvevő hallgatónak ezen lépések megismerésére és gyakorlatba ültetésére van lehetősége tanulmányai ideje alatt, viszont egymáshoz csak ritkán kapcsolódó feladatok, projektek által. Az államvizsga dolgozat elkészítése lehetőséget nyújt egy a „tetőtől-talpig” történő tervezés által elrendezni a különböző tantárgyak elméleti és gyakorlati anyagát a pályakezdő mérnök íróasztalán. Jelen tanulmány egy ilyen tervezési folyamat áttekintésére tesz kísérletet, levonva néhány következtetést.

Ami a témaként választott épületet illeti, egy a Köllő Miklós építész által a *Modern székely ház program* [1] tervpályázatára készített, egyszerű, falusi környezetbe tervezett családi ház, kissé átalakított, kibővített, államvizsga dolgozattá formált változata [2]. Földszint és manzárd nyeregtetővel, az országban leginkább elterjedt építőanyagokból, mely a leggyakrabban alkalmazott építéstechnológiával kivitelezhető. Az alábbi 1. ábrán látható a földszinti alaprajz, a belső tér kialakítása, ajtók és ablakok elhelyezkedése. Az épület szimmetrikusnak tekinthető a B és C tengelyekre merőleges szakasz felezőjénél, a technikai szoba (bal oldalon) külön egységként kezelhető.

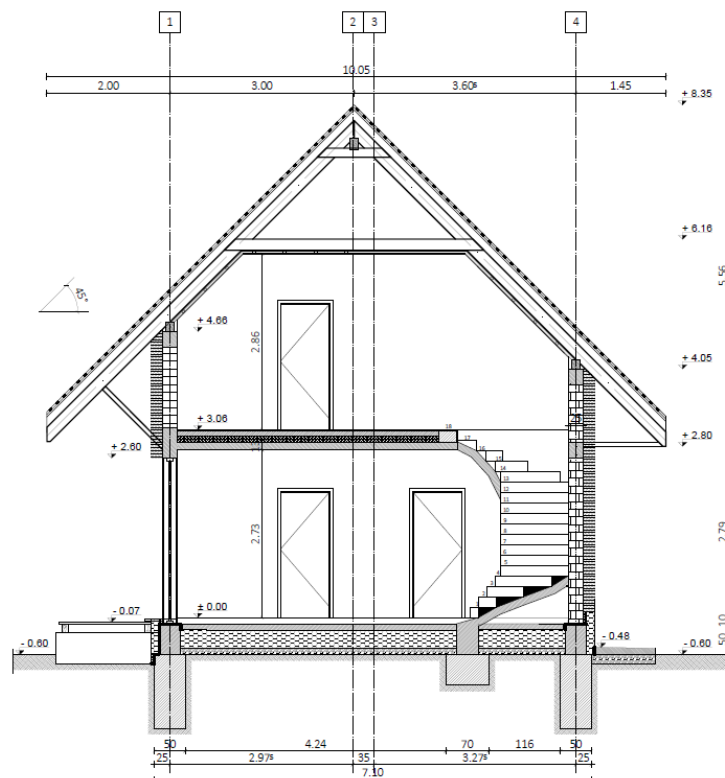
A tervezés első fázisában meghatározásra kerültek a szerkezet fő alkotóelemei: fa fedélszék cserépfedéssel, téglafalazat, fagerendás vagy monolit vasbeton födém, monolit vasbeton lépcső (vasbeton födém esetén) vagy szerelt lépcső (fagerendás födém esetén), valamint beton sávalapozás. Ezzel párhuzamosan elkészült egy vázlaterv és egy kezdetleges szerkezeti előméretezés, ami a következő lépéshez volt szükséges.

Második lépésként az épület állandó, hasznos, meteorológiai, illetve szeizmikus terhei kerültek felmérésre, egyidőben a különböző osztályokba való besorolással (fontossági-kitettségi osztály, terep kategória, szeizmikus zóna) az épület használata, funkciója, illetve elhelyezkedése függvényében.



1. ábra.  
Földszinti alaprajz

A fent leírtak elvégzése lehetővé tette a tervezendő tartószerkezet összerakását, úgynevezett konformálását a szabványok előírásait követve, melyek alapján a falazatot vasbeton pillérek (oszlopok) és zárt rendszerű vasbeton koszorú fogja közre, a földszint fölött monolit vasbeton födém biztosítja a tárcsahatást, az alap szintjén is zárt rendszerű vasbeton koszorú lett alkalmazva a különálló mozgások megakadályozása végett.



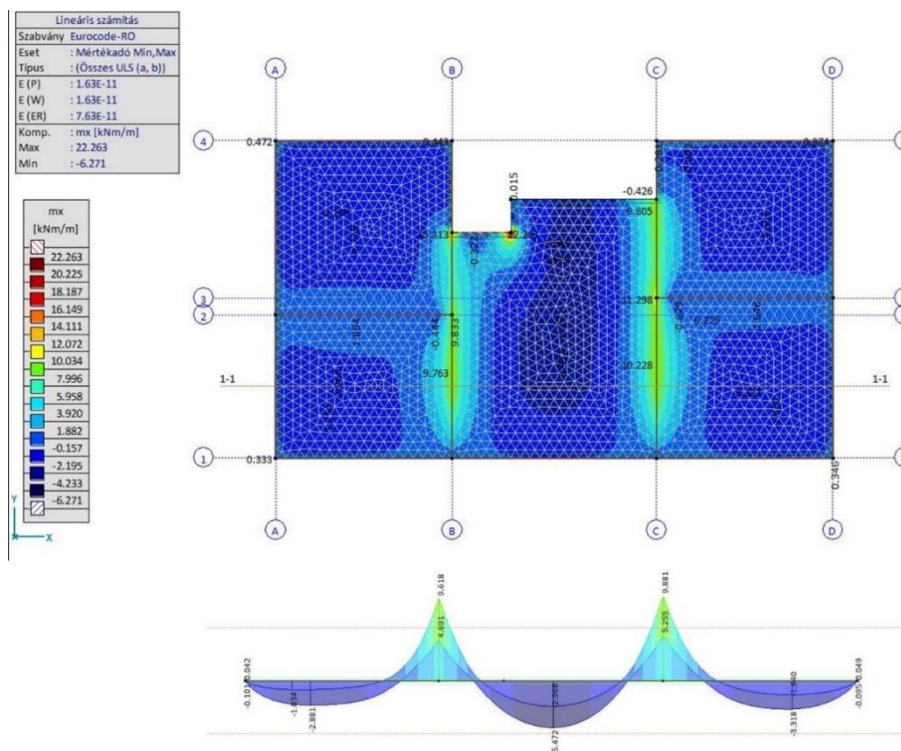
2. ábra  
Karakterisztikus keresztmetszet

## 2. TERVEZÉS

A tervezési téma alapján az épület beépített tetőtérrel kell rendelkezzen (2. ábra), ennek alapján olyan tetőszerkezeti kialakításra volt szükség, mely a belső teret nem használja, így egy kötőgerendás vagy egy állószékes fedélszék helyett egy fogópárral ellátott, szarufás rendszerű fedélszékre esett a választás.

„A fő terheket (a tető önsúlya, felületén keletkező szél és hőterhek) a szarufák a sárgerendán keresztül továbbítják a térdfalra.” A tetőszerkezet térbeli állékonyságát az egymás mellé helyezett szaruállásokat összekötő merevítő rendszer adja [3]. Ezek alapján a tervezési feladat két részre volt bontható – melyet a szerkezet egyszerűsége is megengedett –, első körben egy közbelső szaruállás elemei lettek méretezve, ahol a statikai vázlat a szarufák és az őket összetartó fogópárok sík rendszere alkotja. Majd a hosszirányú merevítés közelítő ellenőrzése.

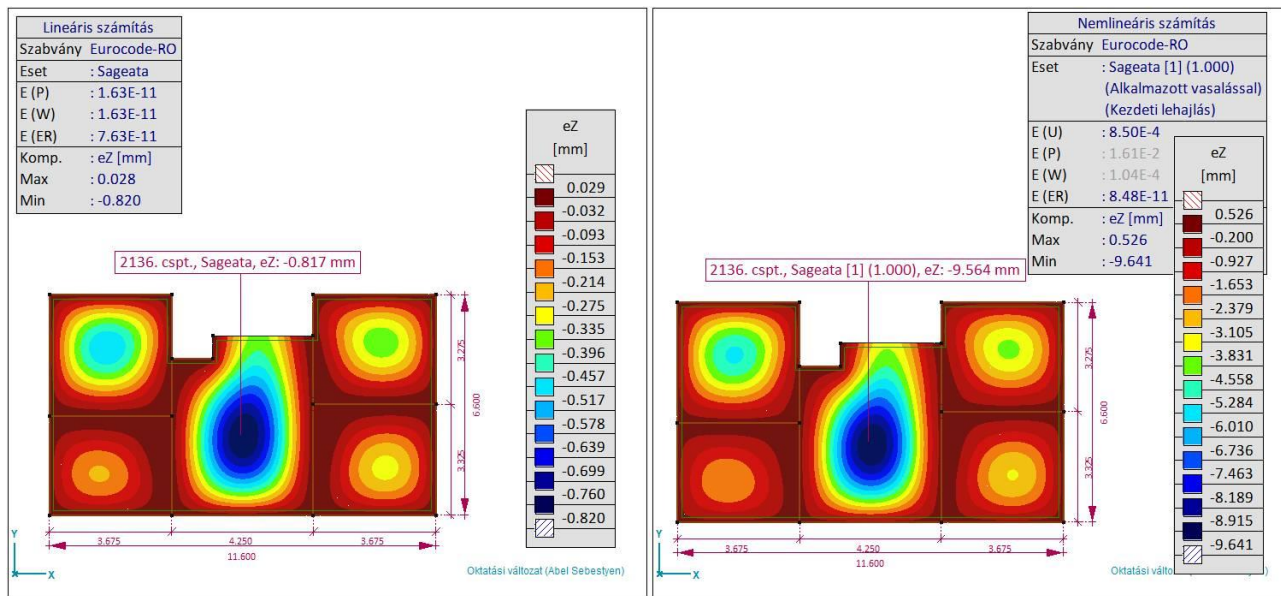
Az erődiagrammok és igénybevételek meghatározásához Axis VM [4] programban készült egy kétdimenziós rúdelemekből álló modell, csuklós kapcsolatokkal. „A tetősík különböző területein és a fogópáron az eltérő rétegrend miatt más és más önsúlyintenzitás van jelen” [2], azonban az egyszerűsítés végett a szarufák teljes hosszán egységesen a hőszigeteléssel számított önsúly teher került alkalmazásra, a fogópárokra pedig az ott megadott rétegrend súlya. A hőteher a romániai CR 1-1-3/2012 [5] tervezési kód/ előírás szerint került meghatározásra, figyelembe véve mindhárom (totális, illetve aszimmetrikus) teheresetet. A szélteher a CR 1-1-4/2012 [6] alapján lett felmérve, alkalmazva pedig a szaruállás, illetve a hosszanti merevítő rendszer méretezésénél. A fedélszékre csak a külső szélnyomás, szélszívás lett alkalmazva és az előírtak közül csak két zóna lett használva az útmutató alapján, hiszen „a figyelembe nem vett zónák a tetőfelület kis hányadát teszik csak ki és az igénybevételeket sem befolyásolják jelentősen” [3]. A szarufa és a fogópár is egy hajlított-nyomott elem, melyek külpontos nyomásra voltak vizsgálva az [7] és [8] szerint, a mértékadó teherkombinációból számított igénybevételekre, C24 osztályba tartozó puhafát (Coniferous) választva. A végső keresztmetszeti méretek a használhatósági határállapot elvárásából (lehajlás) származnak. A faanyagú szerkezeti elemek teherbírásának vizsgálatát a kapcsolatok teherbírasi vizsgálata követte, mely során a szarufa és a talpszelemen (a), a szarufa és a fogópár (b), illetve a sárgerenda és a vasbeton koszorú (c) kapcsolatai lettek méretezve. Az (a) szögacél kapcsolóelem-pár és szegek segítségével, a (b) kapcsolatra két változat is készült: kétszer nyírt átmenőcsavaros fa-fa kapcsolat, illetve kétoldalról történő szegezett kapcsolat, míg a (c) kapcsolat utólagosan a betonba rögzített tőcsavar segítségével lett megoldva.



3. ábra

Mértékadó felületi nyomatéki igénybevétel a beton lemezben (mx) és az igénybevételi ábraaz 1-1 metszetben (kNm-ben)

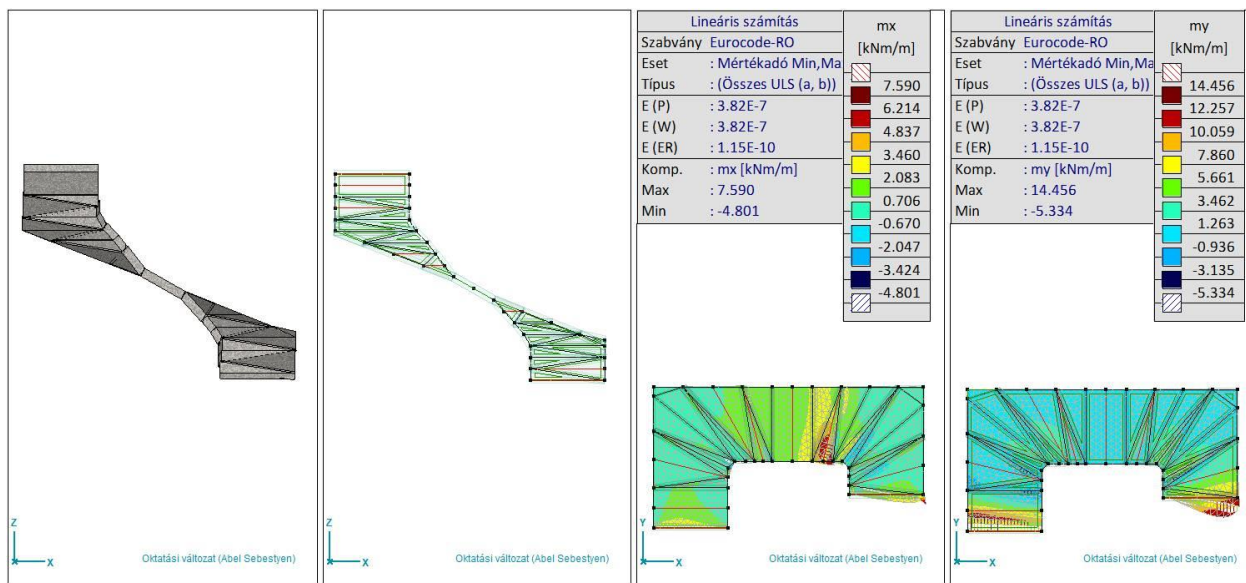
A monolit vasbeton földem különálló, kétirányban teherrel szembeálló lemezként lett méretezve végeselem módszert használva, Axis VM program segítségével. Az önsúly mellett a szobák elhelyezkedése alapján a földlemez egyes zónáiban sorra, külön teheresetként működtetve a hasznos terhet, mivel az a használatból származik (emberi használat, bútorok, mozgatható tárgyak stb.), így nem egy rögzített hatás. A terhek modellje felületen egyenletesen megoszló teher, a földem a falakra támaszkodik, a kapcsolat típusa csuklós. A fenti 3. ábrán a mértékadó felületi nyomtatéki igénybevétel látható.



4. ábra

Lehajlási felületi ábra: lineáris és nemlineáris esetekben

A program segítségével lehetőség volt a terhek kombinációjára és a vizsgált igénybevétel szempontjából a legkedvezőtlenebb tehereset megkeresésére. Ennek ismeretében a program beépített moduljával, beállítva a beton (C20/25) és a betonacél minőségét ( $f_{yk}=500 \text{ N/mm}^2$ , B duktilitási osztály), a betonfedés méretét, a betétek elhelyezkedését, meghatározható a szükséges betonacél mennyiség. Ezen mennyiségek meghatározása után lehetőség nyílt, az alkalmazott vasalás felvételét követően nemlineáris számítás lefuttatására.



5. ábra

A lépcső 3D kitöltött és végeselem modellje, valamint a mértékadó felületi nyomtatéki igénybevételek (mx és my)

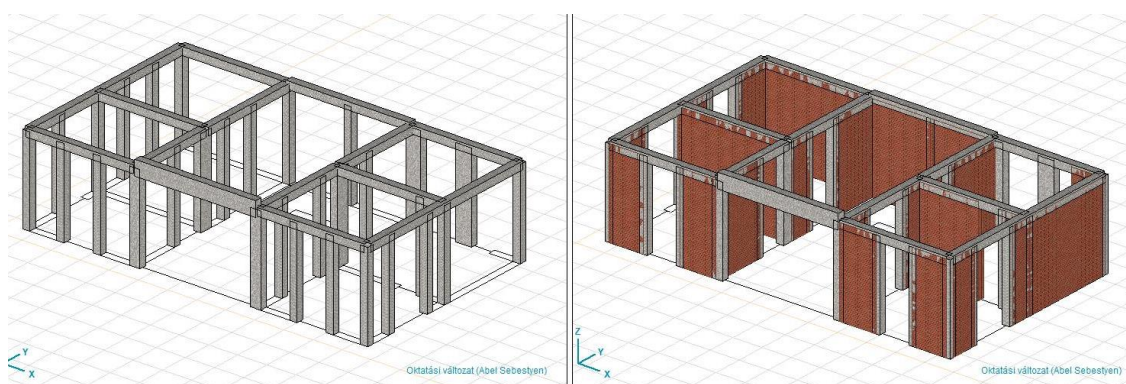


A program felhasználói kézikönyve alapján: „a lineáris statikai számításnál a lemezek lehajlását a rugalmas elmélet szerint kapjuk meg. A valóságban a vasbeton lemezek nemlineárisan rugalmas módon viselkednek. Itt két ellentétes hatás érvényesül. Egyrészt az alkalmazott vasalás merevségnövelő hatása, másrészt a berepedés okozta merevségcsökkenés. E két hatás pontos nyomon követését végzi a program a nemlineáris számítás során, alkalmazott-, vagy mértékadó igénybevételekre számított vasalás figyelembevételével” [4]. A 4. ábrán látható a lineáris és a nemlineáris számítás eredményei. A nemlineáris lehajlás értéke 11-szer nagyobb, mint a rugalmas elmélet alapján kapott érték.

A földszint és manzárd közti függőleges közlekedést egy kétszer negyedívelt, húzott fokú, monolit vasbeton (C20/25) lépcső biztosítja (5. ábra). A lépcső, a földemhez hasonlóan külön elemként lett modellezve és méretezve, héj végelemeket használva, befogott támasszal az első és utolsó lépcsőfoknál.

A modell elkészítésénél figyelni kellett, hogy a véges elemek lokális tengelyei ugyanabba az irányba mutassanak a vasalás helyes és egyszerű meghatározásához.

Az épület fő függőleges teherhordó eleme a téglafalazat, mely a [9] és [10] romániai tervezési kódok előírásai alapján lett megtervezve és méretezve gravitacionális és földrengésből származó igénybevételekre egyaránt. Az építészeti koncepcióból kiindulva, a geometriai kialakítást megtartva, a tervezési alapelveket figyelembe véve, a falazott szerkezetek szerkesztési szabályainak betartása egy abroncsolt-közrefogott, elég sok függőleges elemet tartalmazó szerkezeti kialakításhoz vezetett, mely a 6. ábrán látható.



6. ábra

*A falazatot közrefogó vasbeton függőleges és vízszintes elemek elhelyezkedése falazat nélküli és falazattal kiegészült nézete az Axis VM programban*

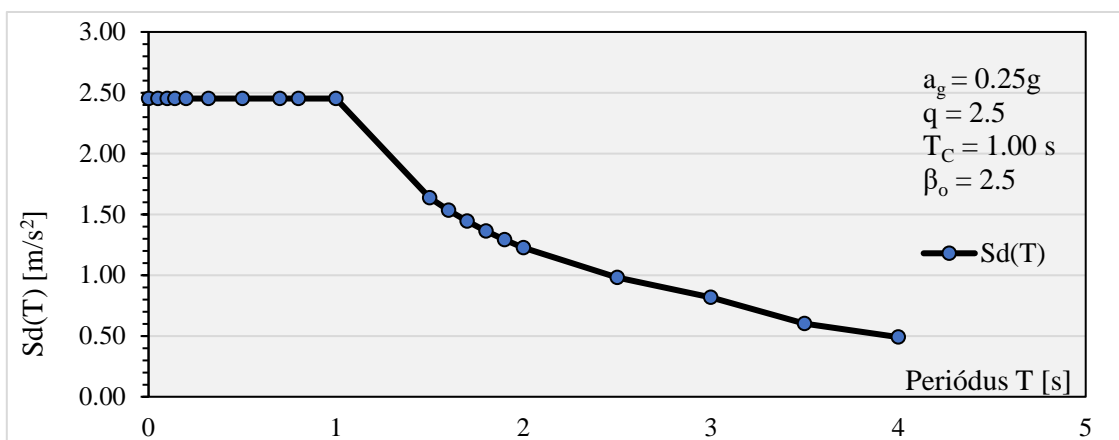
A fal anyagai: a falazóelem, mely jelen esetben a kereskedelemben kapható I. osztályú, 2S csoportba tartozó égetett agyag tégl (kerámia falazóblokk) és a kötőanyag  $f_m=5 \text{ N/mm}^2$  nyomószilárdságú recepthabarcs (M5 - G). Ezek megválasztását és kompatibilitását ugyancsak a [9] és [10] tervezési kódok szabályozzák, például erre a falazóelem osztálya, falazóelem-csoportja, kötőanyag típusa (vastaghabarcs, vékonyhabarcs), stb. A fal anyagainak kiválasztása után meghatározhatók az anyagjellemzők, biztonsági tényezők, tervezési paraméterek. A falazatok méretezése és ellenőrzése két teheresetben történt: először a gravitációs terhekkel függőlegesen terhelt falazat panelenkénti ellenőrzése, majd a szerkezet ellenőrzése földrengésből származó igénybevételekre.

Az első esetben egy belső és egy külső 1 méteres falszakaszt kiválasztva, a rájuk érkező gravitációs terhek kerültek kiszámításra analitikus módon, a legteherheltebb épületrészben. A falat a magasság mentén több keresztmetszetben is ajánlott volt ellenőrizni: a fal tetején a koszorúk alatt, a falmagasság 2/3-ban, a fal alján a földem, illetve a földszint esetében az alapzat felett. A fal nyomási ellenállását csökkentő, a fal síkjára merőleges kiütemezések is figyelembe lettek véve. A [9] alapján a falazat kiütemezett nyomásra volt ellenőrizve és kijelenthető, hogy betartva a tervezési kód szerkesztési és mértani követelményeit a vizsgált keresztmetszetekben a falazat teherbírása megfelelő.

A második eset az épület egészének vizsgálatára kiterjed, illetve annak válaszára földrengés esetén. A földrengéses számítás módszere lineárisan rugalmas anyagmodellre feltételező, síkbeli statikus vizsgálat.

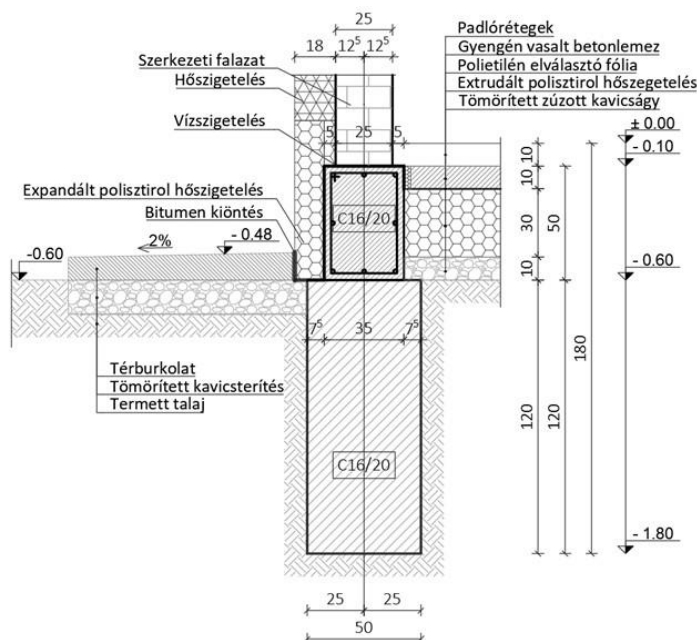
A dinamikai igénybevételt az Eurocode 8-hoz hasonlóan a P100-1/2013 is megengedi helyettesítő terhek módszerével (vagy helyettesítő statikai módszer - HSM) alkalmazni, persze csak bizonyos feltételek mellett. Az épülethez valós földrajzi elhelyezkedést rendelve, az országos szeizmikus térkép alapján  $a_g=0.25 \text{ m/s}^2$  tervezési talajgyorsulás (vízszintes komponens) zóna lett kiválasztva (pl. Kovásznán), ezzel is komolyabbá téve a szerkesztési és tervezési szabályokat. A 7. ábrán a [10] útmutatásait követve létrehozott tervezési válaszspektrum látható. Az össztömeg meghatározása után, a válaszspektrum alapján kiszámítható az alapnyíróerő ( $F_b$ ). Megjegyzendő, hogy a HSM csak az első rezgéalakot veszi figyelembe. A terhek a falak merevségének

függvényében osztódtak szét, ugyanakkor az épület egymásra merőleges, két főtengelye mentén (X és Y főirányok) külön-külön volt számolva az alapnyíróerő. Kétféle tönkremeneteli módban érdemes ellenőrizni a falszakaszokat. Az egyik, a vízszintes habarcsréteg elnyíródása által bekövetkezett tönkremenetel, míg a másik a falazat törése az átló mentén. A reciprocitási tétel (dualitási tétel) alapján a vízszintes nyírófeszültségek függőlegeseket is generálnak, így átlós húzófeszültség lép fel a falazatban, mely ugyancsak töréshez vezethet.



7. ábra  
Tervezési válaszspektrum vízszintes talajmozgások esetén

Miután az épület felmenő szerkezetei mind meg lettek határozva, az alapozás tervezéséhez a talajvizsgálati jelentés tanulmányozása után lehetett hozzákezdeni. Jelen esetben a síkalap vezet, a műszaki és gazdaságossági kérdésben is előnyös választáshoz. Ilyenkor az alap közvetlenül az építmény szerkezete alá kerül, sávalapként a falak folyamatos alátámasztása biztosított. Mivel a talaj teherbírása kisebb az építőanyagokénál, ezért az alap konzolosan kinyúlik a falak alól. Elsőként az alapozási sík felvétele történt meg, a fagyhatár, a teherbíró talaj, a talajvíz szintje, az építmény szerkezete által megkívánt mélység függvényében. A fagyhatár diktálta, minimális mélységű alapozási síkból volt érdemes kiindulni.



8. ábra  
Alapozási részletrajz

Már a téglafalazat tervezésekor, a földrengés szabványból (lásd [10]) kivonatozott előírások között szerepelt, hogy a falazatot folytonos talppal rendelkező, vasbeton alapra kell helyezni, melyet az NP112-2014-es romániai szabvány [11] is alátámaszt. A síkalap vízszintes méreteinek meghatározásához az előbb említett

szabvány ad utasításokat, ahogy a további teherbírás számításához és a süllyedés ellenőrzéséhez is. A talajtörési ellenállás karakterisztikus értéke drénezett esetben lett meghatározva és szembe állítva az épület terheléseiből származó függőleges igénybevétel tervezési értékével, az 1. tervezési módszer 1. (A1+M1+R1) és 2. (A2+M2+R1) kombinációiban. Ahol a tervezési módszer kombinációiban az A1 és A2 a hatásokra vonatkozó parciális tényezőket adja meg, míg az M1 és M2 a geotechnikai paraméterek parciális tényezőit. Az alapok szilárdsági méretezése a talpfeszültségek egyszerűsített eloszlását feltételezve történt. A 8. ábrán egy alapozási részletrajz, keresztmetszet látható.

A [12] szerint „az alapozás helyes megtervezéséhez hozzátartozik annak igazolása, hogy az altalaj nem szenved akkora deformációt, amely az építményre károsan hat vissza”. A GP 129/ 2014 [13] tervezési útmutató éppen ezért írja elő a süllyedésszámítást használhatósági határállapotot feltételezve. Ehhez a számításához a terhek biztonsági szorzók nélkül lettek figyelembe véve. Jelen épület, a terhekkal együtt a számítás alapján a határértékeken belül mozog.

### 3. KÖVETKEZTETÉSEK

A tanulmány végig vezet egy családi ház tartószerkezeti tervezésének folyamatán, ugyanakkor betekintést nyújt egy építőmérnök sokrétű ismeretanyagába. Az államvizsga dolgozat lehetőséget adott egy tudásanyag szintézisre, mely az alapképzés négy éve alatt elsajátított, sok tantárgyat felölelő ismeretanyag és képesség egészbe foglalása. Ilyen szaktantárgyak a mechanika, a szilárdságtan, a statika és dinamika, építőanyagok, geotechnika és alapozás, vasbeton-, fa-, és fémszerkezetek, civil épületek, termotechnika (hőtan), munkaszervezés és kivitelezési technológia.

Ahogy a [14] előszavában is megfogalmazták: a tervezési munka folyamatosan kötelezi a mérnököt a szakirodalom és a szabványok folyamatos követésére, használatára és állandó alkalmazására, ami a szerkezettervezést, a szerkezeti elemek méretezését és azok tervrajzokon való megjelentetését illeti. Éppen ezért a mérnök már első perctől sarkalva van arra, hogy ne mechanikusan, gépiesen dolgozzon, hanem önállóan, logikus érvekkel alátámasztva az alkalmazott módszereket.

A szeizmikus koncepcionális tervezés rendkívül fontos, ennek érdekében előnyös, ha az építész és a statikus a tervezés kezdetétől együttműködik.

Ezen építészeti modellel és a választott tartószerkezettel szemben a legkritikusabb a P100-1/2013 romániai földrengéses tervezési kód volt, hiszen egyértelműen kimondja, hogy azokban a zónákban, ahol a tervezési talajgyorsulás nagyobb, mint 0.25g, az alapnyíróerőt teljes egészében a kétoldalán vasbeton oszlopokkal és a tetején vasbeton koszorúval közrefogott téglafalazattal vagy vasalt falazattal kell átvenni. Ez egy oszlopokkal telítődött szerkezetet eredményezett. Gazdaságosan, de jól építkezni maximális fontosságú tényező, éppen ezért érdemes a fent bemutatott szerkezet összehasonlítása vasbeton keretszerkezettel, favázis szerkezettel, vagy könnyű acélvázis szerkezettel. Ezáltal sokkal tájékozottabbá válhat a szerkezettervező mérnök, valamint könnyebben hoz gazdaságos döntéseket, ugyanis egyik vagy másik szerkezet típus zónától függően jobban, vagy gyengébben teljesít. Tehát a tervező csapat szerkezet választásától függően drágább vagy olcsóbb épület lesz a végeredmény.

### 4. IRODALMI HIVATKOZÁSOK

- [1] [https://epitettorokseg.ro/wp-content/uploads/2020/10/modern\\_szekelyhaz\\_2.4-proiect-model4.pdf](https://epitettorokseg.ro/wp-content/uploads/2020/10/modern_szekelyhaz_2.4-proiect-model4.pdf)(utolsó letöltés: 2022.07.13.)
- [2] Sebestyén, Á., Családi ház (földszint és manzárd) közrefogott falazattal. Diplomamunka, Temesvári Műszaki Egyetem, Temesvár, 2021.
- [3] Kálmán, K., László, E., András, M., Fogópáros fa fedélszék számítása az Eurocode szerint – v3.2, Segédlet, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Budapest, 2010.
- [4] Axis VM X5 Felhasználói kézikönyv X5 R3 e2. kiadás, 2020.
- [5] CR 1-1-3/2012 Cod de proiectare. Evaluarea acțiunii zăpezii asupra construcțiilor., 2012.
- [6] CR 1-1-4/2012 - Cod de proiectare. Evaluarea acțiunii vântului asupra construcțiilor., 2012.
- [7] EN 1995-1-1 Eurocode 5: Design of timber structures - Part 1-1: General - Common rules and rules for buildings, 2009.
- [8] Bergkvist, P., Thelander, C., Martinac, V., Design of timber structures. Examples. Volum 3, Swedish Wood, 2016.
- [9] CR6/ 2013 Cod de proiectare pentru structuri din zidărie., 2013.
- [10] P100-1/2013 Cod de proiectare seismic – Partea I – Prevederi de proiectare pentru clădiri., 2013.
- [11] NP112-2014. Normativ privind proiectarea fundațiilor de suprafață, M.D.R.A.P., 2014.
- [12] Farkas, J., Józsa, V., Alapozás jegyzet, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Geotechnikai Tanszék, 2014.
- [13] GP129-2014. Ghid privind proiectarea geotehnică, M.D.R.A.P., 2014.
- [14] Valeriu Bănuț, Calcul neliniar al structurilor. București, 1981.