

**Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
Építőmérnöki Kar**

**Monolit vasbeton síklemez födémelek tervezésének
tartóssági és gazdaságossági kérdései**

**Tudományos Diákköri Konferencia
2012**

**Készítette
Sarbak Márton**

Tartószerkezet és geotechnika szakirányos
Szerkezet-építőmérnök MSc hallgató

**Konzulens
Dr. Koris Kálmán**

Egyetemi adjunktus
BME Hidak és Szerkezetek Tanszék

Budapest, 2012.10.31.

Köszönetnyilvánítás

*Ezúton szeretnék köszönetet mondani **Dr. Koris Kálmán** konzulensemnek, aki lehetővé tette számomra a dolgozat megírását, és segítőkész támogatásával elősegítette szakmai tudásom fejlődését a tartószerkezeti tervezés ezen, számomra eddig kevésbé ismert területén.*

*Hálás vagyok **Gurubi Imrének és kollégáinak**, akik a KÖZTI Zrt-nél töltött gyakorlatom során szaktudásukkal és tanácsaikkal hozzásegítettek vizsgálataim elvégzéséhez.*

Tartalomjegyzék

1. Bevezetés	5
1.1. Problémafelvetés.....	5
1.2. A kutatás célkitűzései.....	6
2. Szakirodalmi áttekintés	7
2.1. Méretezési elvek az MSZ EN 1990 szerint.....	7
2.2. Tartószerkezetek méretezése megbízhatósági módszerrel.....	8
2.2.1. A teherbírás megfelelőségének igazolása.....	10
2.2.2. A globális biztonsági tényező.....	10
2.2.3. A v_i relatív szórások értelmezése.....	11
2.2.4. A parciális tényező értelmezése.....	11
2.2.5. A β megbízhatósági index.....	11
2.2.6. Az EC0 szerinti ellenőrzési szintek.....	12
2.3. Vasbetonszerkezetek karbonátosodás okozta korróziója.....	13
2.3.1. A beton karbonátosodása.....	13
2.3.2. Repedésmentes vasbeton keresztmetszet karbonátosodás okozta korróziója.....	14
3. Alkalmazott vizsgálati módszerek	16
3.1. A vizsgált épület rövid ismertetése.....	16
3.2. Igénybevételek számítása végeelem módszerrel.....	17
3.2.1. Elemek.....	17
3.2.2. Támaszok.....	18
3.2.3. Terhek.....	19
3.2.4. Végeelem háló.....	20
3.2.5. Statikai számítás, igénybevételek.....	20

3.3. A födémlemez méretezése különböző feltételek mellett.....	22
3.3.1. Az 1. eset bemutatása: csak nyomatékra méretezett, berepedt födém.....	23
3.3.2. A 2. eset bemutatása: nyomatékra-normálerőre méretezett, berepedt födém	24
3.3.3. A 3. eset bemutatása: nyomatékra-normálerőre méretezett, repedésmentes födém.....	25
3.3.4. A három változat értékelése és összehasonlítása gazdasági szempontból.....	26
3.4. Tartóssági tervezés valószínűségelméleti alapon.....	34
3.4.1. A födém szerkezet tönkremeneteli valószínűségének meghatározása.....	35
3.4.2. A teherbírás várható értékének meghatározása.....	36
3.4.3. A teherbírás szórásának meghatározása.....	36
3.4.4. A bemenő adatok kiindulási értékei.....	37
3.4.5. A bemenő adatok időbeli változása.....	37
3.4.6. A három variáns esetén kiszámolt tönkremeneteli valószínűségek bemutatása, és az eredmények értékelése.....	42
4. Összefoglalás.....	46
5. Jövőbeli tervek.....	49
6. Irodalomjegyzék.....	50
Mellékletek.....	51

1. Bevezetés

1.1. Problémafelvetés

A hazai építési gyakorlatban rendszeresen előforduló probléma, hogy mélygarázsok vasbeton síklemez födémjein az építés után különböző okok miatt repedések jelentkeznek. Ennek jellemző oka a gátolt lassú alakváltozásból (zsugorodásból) származó többletfeszültségek kialakulása, de ezen kívül számos egyéb, a kivitelezés módjával, körülményeivel, és az épületre ható előre nem látható vagy tervezhető hatásokkal összefüggő probléma is közrejátszhat ebben.

Mindezek mellett, a nem feszített, húzó – és hajlító-igénybevétellel terhelt vasbetonszerkezetek gyakorlatilag minden esetben megrepednek. Ennek többféle káros hatása van, úgy, mint a repedések nem kívánatos látványa, az acélbetétek fokozódó korróziója, a födém teljes vastagságán átmenő repedések esetén az átázások problémája, de ide sorolható a viszonylag drága burkolatok és szigetelések tönkremenetele, illetve a repedések miatt lecsökkent merevséggel rendelkező födémek lehajlásának növekedése is. Mélygarázsok esetén a burkolatok és szigetelések hiánya vagy minimális volta esetén a fent említett problémák fokozódnak, - a repedések a legtöbb esetben szemmel is láthatóak -, illetve a gépkocsik által behordott csapadékvíz, hólé a födémeket tovább roncsolhatja, és komoly átázásokat okozhat.

A jelenlegi Eurocode szabályozás értelmében a repedések megléte a legtöbb esetben megengedett, viszont tágasságukat a tervezés során korlátozni kell. Ennek mértéke a szerkezet funkciójától, illetve a betont érő környezeti hatásoktól (kitéti osztályoktól) függ. Mélygarázsoknál, illetve egyéb speciális épületeknél, például ipari üzemek, tartályok, medencék esetén – gyakori követelmény a szerkezetek vízzárósága.

A hajlításból (esetleg húzásból) származó, illetve a gátolt alakváltozás hatására fellépő nagy húzófeszültségek felvételére alkalmas módszer lenne, a megfelelő mértékű, méretezett szerkezeti vasalás alkalmazása, illetve a szerkezeti beton körültekintő utókezelése – főleg, a téli időszakban történő – kivitelezés során, azonban mindkét gyakorlatot, a hazai építőipar – versenyképes teljesítményre való hivatkozással – a legtöbb esetben mellőzi.

Az utóbbi években azonban – főként nagyobb beruházások esetén – egyre gyakrabban megjelenő igény a vasbeton szerkezetek tartósságának vizsgálata, aminek egyértelmű célja a fenntartási költségek és munkák csökkentése. A repedések létrejöttével ugyanis még jóval a

beton karbonátosodása előtt megindul a betonacélok korróziója, ami többek között foltosodást, a betonfedés leválását, és teherbírási problémákat okozhat, csökkentve ezzel a vasbetonszerkezet tartósságát is. A teljes használati idő alatt a beton akkor lehet tartós, ha üzemszerű használat mellett a környezeti hatásokat jelentősebb károsodások nélkül elviseli. Ezeket a körülményeket – amelyek hatására a beton anyagában különböző reológiai folyamatok játszódnak el – modellezhetjük, és szemben a nem rendeltetészerű használatból eredő állapotromlással, a tervezésben e változások számszerűsíthetőek.

Egy olyan számítás, ami képes figyelembe venni bármely időpillanatban a szerkezetre ható terhek összességét, várható értékük és szórásuk ismeretében, illetve az ellenállást ugyanilyen módon, lehetővé teszi olyan szerkezetek tervezését, amelyek a teljes tervezett élettartamuk alatt erőtanilag megfelelnek, és tartósak.

1.2. A kutatás célkitűzései

A dolgozatban azt vizsgáltam, hogy a vasbeton síklemez födémelek repedésmentes, illetve berepedt állapotra való méretezése milyen megvalósítási és fenntartási költségekkel jár a födém teljes élettartamát tekintve. Repedésmentesre tervezett födémelek esetén magasabbak a kivitelezési költségek, viszont a korróziós folyamatok lassabban indulnak meg a szerkezetben, és várhatóan alacsonyabb fenntartási költséggel számolhatunk. Berepedt állapotra való tervezés esetén az alacsonyabb kivitelezési költségek mellett várhatóan gyorsabb lesz a korrózió, és ezzel összefüggésben magasabbak lesznek a fenntartási (esetleg megerősítési) költségek.

A kutatás során a budapesti Várkert Bazár – jelenleg tervezési fázisban lévő – rekonstrukciója során megépülő mélygarázsának példáján keresztül vizsgáltam, hogy a fent említett tervezési elvek mellett a födém szerkezet esetén mekkora lesz a teljes élettartamra vetített költségvonat. A födémelek várható élettartamának vizsgálata során valószínűségi méretezési elv alkalmazásával figyelembe vettem az anyagjellemzők és keresztmetszeti méretek időbeli változásán túl, a beton karbonátosodásának és a betonacélok korróziójának a teherbírási gyakorolt hatását.

A számításokat három esetre, különböző terhelési és vasalási paraméterek feltételezése esetén végeztem el:

1. eset:

- a földem csak síkjára merőlegesen terhelt, azaz önsúlya, a burkolatok súlya, és a hasznos teher (gépkocsi parkoló) terheli
- a méretezés csak a hajlítónyomatékokra történik
- a vízszintes földnyomás, illetve a zsugorodás hatása nincs figyelembe véve
- a keresztmetszet III. feszültségállapotban (képlékeny), berepedtre tervezve

2. eset:

- a földem síkjára merőlegesen, illetve síkjában is terhelt, azaz az 1. eset terhein kívül hat rá a vízszintes földnyomás és a zsugorodás is, mint teher
- a méretezés a hajlítónyomatékok és normálerők együttesére történik
- a keresztmetszetet III. feszültségállapotban (képlékeny), berepedtre tervezve

3. eset:

- a földem a 2. esettel megegyezően terhelt
- a méretezés a hajlítónyomatékok és normálerők együttesére történik
- a keresztmetszet I. feszültségállapotban (rugalmas), repedésmentesre tervezve

A megvalósítási és fenntartási költségeket az egyes változatok várható élettartamára való tekintettel határoztam meg. Ezek mellett kimutattam azt is, hogy az egyes változatok során mekkora a tönkremenetel bekövetkezésének valószínűsége a vizsgált időpillanatokban, illetve hogy ez miként alakul a jelenleg érvényben lévő Eurocode szabványban előírt küszöbértékhez képest.

A bemutatott eredményeket a dolgozat végén összefoglalom, és értékelem. Ezzel lehetőség nyílik monolit vasbeton síklemez földemek tervezési élettartamának megválasztására különböző szerkezeti kialakítások mellett, és ezzel összefüggően kalkulálhatók a bekerülési és fenntartási költségek is.

2. Szakirodalmi áttekintés

2.1. Méretezési elvek az MSZ EN 1990 szerint:

A tartószerkezeti méretezés filozófiájának alapelveit mutatja be az *MSZ EN 1990 Eurocode: „A tartószerkezeti tervezés alapjai”* megnevezésű szabvány (a továbbiakban: EC0) [1]. E szabvány az ún. megbízhatósági eljárásra épül, és a határállapot koncepció keretében a parciális tényezők módszerét használja. A parciális tényezők módszere az osztott biztonsági tényezős eljárásnak egy olyan továbbfejlesztett változata, amely az előbbinél nagyobb mértékben alkalmazza a valószínűségi elméleti alapokon nyugvó megbízhatósági elméletet.[2]

Az EC0 szerint egy újonnan tervezett szerkezet a tervezési élettartama során megfelelő megbízhatósággal és gazdaságossággal alkalmas kell, hogy legyen az üzemszerű használatra, azaz megfelelő teherbírással, tartóssággal és használhatósággal rendelkezzen, és rendkívüli körülmények között se károsodjon a kiváltó okhoz képest aránytalanul nagy mértékben.

A tervezési élettartamra vonatkozó eseteket az 1. táblázat tartalmazza, amelyek figyelembe vétele a tartószerkezetek előírt megbízhatóságának teljesítéséhez elengedhetetlen.

1.táblázat: **Tervezési élettartamok** [4]

Osztály	Előírt tervezési élettartam (év)	Példák
1	10	Ideiglenes tartószerkezetek ⁽¹⁾
2	10-25	Cserélhető tartószerkezeti részek. Pl. darupályatartók, saruk
3	15-30	Mezőgazdasági és hasonló tartószerkezetek
4	50	Épületek tartószerkezetei és egyéb szokásos tartószerkezetek
5	100	Monumentális épületek tartószerkezetei, hidak, és más építőmérnöki szerkezetek

⁽¹⁾ Az olyan tartószerkezeteket vagy azok részeit, melyek újrafelhasználás céljából szétszerelhetők, nem kell ideiglenes szerkezetnek tekinteni.

A tartószerkezetek teherbírására és használhatóságára előírt megbízhatóságot az EC0 szerinti tervezéssel kell elérni, kiegészítve megfelelő szintű megvalósítással és minőségbiztosítással.

Az Eurocode a tervezési élettartamok előirányzása mellett teherbírasi és használhatósági határállapotokat definiál, melyek megfelelőségét minden tervezési állapotban

igazolni kell. Időtől függő, esetleg halmozódó terhek esetén a határállapotok igazolásakor a tervezési élettartamot is figyelembe kell venni. [2]

Szerkezetek tartóssága, tervezési élettartama:

A [6] szerint egy tartószerkezet tervezési élettartama az alábbi paraméterek segítségével határozható meg:

- a megfelelő határállapot kiválasztása,
- használati évek számának megadása,
- illetve a vizsgált határállapotra vonatkozó megbízhatósági szint definiálása, amelyet nem léphetünk túl a szerkezet tervezett élettartama alatt.

A szerkezet tartóssága akkor megfelelő, ha az öregedési/reológiai folyamatok miatti teherbírás csökkenés mellett, a terheknek és környezeti hatásoknak kitéve is használatra alkalmas marad a tervezett élettartama során. Ennek a kritériumnak a teljesítését az EC0 a használhatósági határállapot ellenőrzésével írja elő – melynek során vasbetonszerkezetek esetén a lehajlást, a repedéstágasságot illetve feszített szerkezeteknél a feszültségeket korlátozni kell –, illetve szerkesztési szabályok biztosításával, amelyek a beton minimális szilárdsági osztályát, a minimális cementtartalmat, a maximális víz-cement tényezőt, és a minimális betonfedés értékét írják elő különböző környezeti feltételek esetén. [7]

2.2. Tartószerkezetek méretezése megbízhatósági módszerrel

A tartószerkezeti teherbírás megfelelőségének igazolása elvégezhető a megbízhatósági elméleten alapuló eljárással. [3]

A teherbírás megfelelősége igazolható az ellenállás oldali R_m , illetve a hatás oldali G_m állandó, és Q_m esetleges terhek várható értékeinek felhasználásával, ahol:

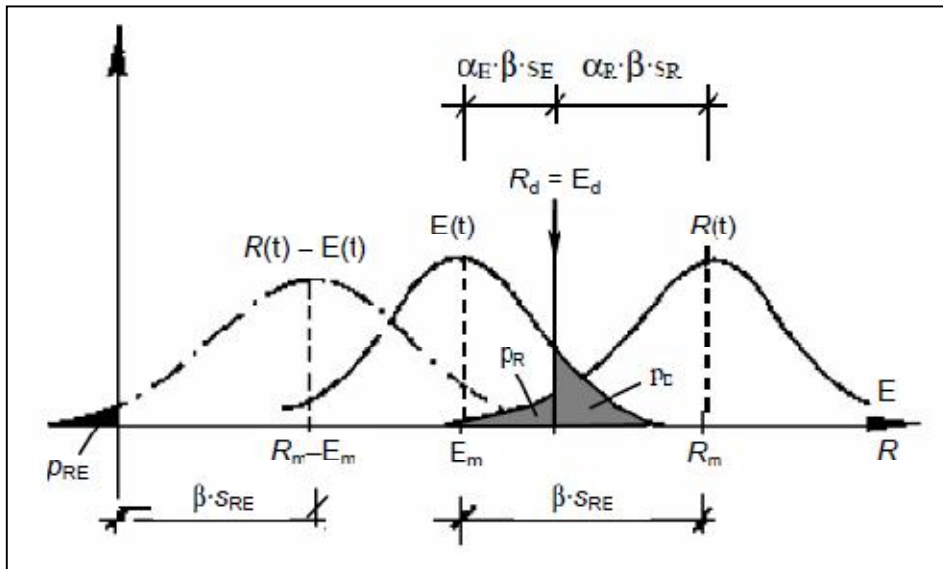
$$Q_m = Q_{1m} + \sum_{i=2}^n \psi_{0i} Q_{im}$$

és

- Q_{1m} a kiemelt esetleges teher,
- Q_{im} az i -edik, nem kiemelt esetleges teher,
- és Ψ_{0i} a Q_{im} -hez tartozó kombinációs (egyidejűségi) tényező.

2.2.1. A teherbírás megfelelőségének igazolása:

Az E_m hatás és R_m ellenállás oldal együttes kezelése az 1. ábra szerint értelmezhető:



1. ábra: A teher és ellenállás sűrűségfüggvényei [4]

A szerkezet teherbírása megfelelő, ha (1. ábra)

$$R_d \geq E_d$$

ahol R_d az ellenállás tervezési értéke:

$$R_d = R_m \exp(-\beta \cdot \alpha_R \cdot \nu_R)$$

E_d a hatás oldal tervezési értéke:

$$E_d = \left[G_m \left(1 - \beta \cdot \alpha_G^{(-)} \cdot \nu_G \right) + Q_m \left(1 - \beta \cdot \alpha_Q^{(-)} \cdot \nu_Q \right) \right]$$

ahol α_G és α_Q az ún. érzékenységi tényezők, ν_G és ν_Q az állandó és az esetleges teher relatív szórásai.

2.2.2. A globális biztonsági tényező:

A teherbírasi követelmény teljesül, ha:

$$R_m \geq \exp\left[\beta \cdot \alpha_R^{(+)} \cdot \nu_R\right] \cdot \left[G_m \left(1 - \beta \cdot \alpha_G^{(-)} \cdot \nu_G \right) + Q_m \left(1 - \beta \cdot \alpha_Q^{(-)} \cdot \nu_Q \right) \right]$$

Bevezetve a γ_m globális biztonsági tényezőt, a teherbírás az alábbi módon igazolható:

$$R_m \geq \gamma_m \left(G_m + Q_{1m} + \sum_{i=2}^n \psi_{0i} Q_{im} \right)$$

2.2.3. A v_i relatív szórások értelmezése:

Az ellenállási oldal v_R relatív szórásának az EN szerinti meghatározásához a következő három adat szórását kell ismernünk:

- a szilárdsági értékek relatív (mért) szórása: v_{Rf}
- a számítási modell bizonytalansága: v_{Rm}
- a geometriai adatok bizonytalansága: v_{RG}

Az említett három bizonytalanság együttes figyelembevétele megadja a v_R eredő szórást:

$$v_R = \sqrt{v_{Rf}^2 + v_{Rm}^2 + v_{RG}^2}$$

A hatás oldalon lévő v_E relatív szórás értékét – a v_R -hez hasonlóan – az E hatás mért adatainak szórása (v_{Ef}), az m számítási modell (v_{Em0}) és a G geometriai modell (v_{EG}) bizonytalanságai befolyásolják.

Ezek alapján az igénybevételi oldalon lévő állandó (G) és esetleges (Q) hatások korábbi értelmezése alapján:

- a v_G eredő szórás relatív értéke:

$$v_G = \sqrt{v_{Gf}^2 + v_{Gm}^2 + v_{GG}^2}$$

- a v_Q eredő szórás relatív értéke:

$$v_Q = \sqrt{v_{Qf}^2 + v_{Qm}^2 + v_{QG}^2}$$

2.2.4. A parciális tényezők értelmezése:

A hatás oldali parciális tényezők az állandó, illetve az esetleges teherre az alábbi módon értelmezhetők:

$$\gamma_G = 1 + \beta \cdot \alpha_G \cdot v_G$$

$$\gamma_Q = 1 + \beta \cdot \alpha_Q \cdot v_Q$$

2.2.5. A β megbízhatósági index:

A fenti összefüggésekben használt β megbízhatósági index felvételéhez az EC0 kárhányad szerinti osztályokat definiál az épületekre (2. táblázat), ami alapján β minimális értéke felvehető (3. táblázat)

2. táblázat: **Épületek osztályozása a kárhányad alapján az EC0 szerint [4]**

Kárhányad szerinti osztály	Leírás	Példák az épületek és az építőmérnöki szerkezetek köréből
CC3	Tönkremenetel esetén az emberélet elvesztésének a valószínűsége nagy , vagy a gazdasági, társadalmi, környezeti következmények rendkívül jelentősek	Lelátók, közösségi épületek, ahol a tönkremenetellel járó kár nagy (pl. koncertterem)
CC2	Tönkremenetel esetén az emberélet elvesztésének a valószínűsége közepes , a gazdasági, társadalmi, környezeti következmények számottevők	Lakó- és irodaházak, közösségi épületek, ahol a tönkremenetellel járó kár közepes (pl. irodaház)
CC1	Tönkremenetel esetén az emberélet elvesztésének a valószínűsége kicsi , a gazdasági, társadalmi, környezeti következmények nem jelentősek , vagy elhanyagolhatók	Mezőgazdasági épületek, melyekben szokásos esetben emberek nem tartózkodnak (pl. raktárak), növényházak

Az egyes kárhányad szerinti osztályokba való besoroláshoz – a referencia időszak függvényében – hozzárendelhető a megbízhatósági osztály megfelelő sora, és ennek alapján a teherbírási határállapotok vizsgálatához tartozó β megbízhatósági index (3. táblázat).

3. táblázat: **a β ajánlott értékei az EC0 szerint [4]**

Megbízhatósági osztály	A β minimális értékei	
	1 éves referencia-időszak	50 éves referencia-időszak
RC3	5,2	4,3
RC2	4,7	3,8
RC1	4,2	3,3

A β megbízhatósági index és a p kockázat közötti $p=\Phi(-\beta)$ összefüggés normális eloszlásfüggvény alkalmazásával nyerhető értékeit láthatjuk a 4. táblázatban, ahol Φ a normális eloszlás függvényét szimbolizálja.

4. táblázat: **a β és a p közötti összefüggés [4]**

p	10^{-1}	10^{-2}	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}	10^{-7}
β	1,28	2,32	3,09	3,72	4,27	4,75	5,20

2.2.6. Az EC0 szerinti ellenőrzési szintek:

A megbízhatósági szint teljesítéséhez a tervező vagy a megrendelő előírja az EC0 alapján a megvalósítási tervek, illetve a kivitelezés ellenőrzésének a követelményeit. Az ún.

tervellenőrzési (DSL1-DSL3) és helyszíni ellenőrzési (IL1-IL3) szinteket a szerkezet rendeltetéséből és értékéből fakadó jelentőség szerint felvehető RC1-RC3 megbízhatósági osztályoktól függően kell meghatározni.

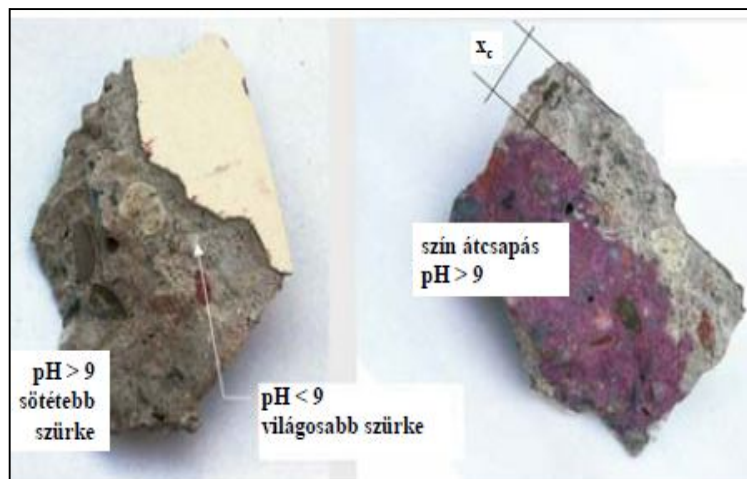
2.3. Vasbetonszerkezetek karbonátosodás okozta korróziója

2.3.1. A beton karbonátosodása:

Karbonátosodásnak egy anyag szén-dioxiddal történő reakcióját nevezzük. A folyamat általában nem okoz károsodást az építőanyagok többségénél, vasbetonszerkezeteknél azonban közvetett hatása van az acélbetétek korróziójára. [8]

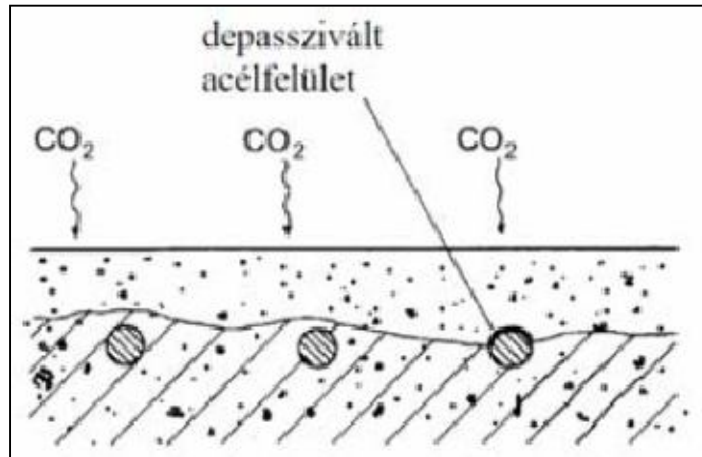
A beton pórusvizeinek kémhatása pH 12.5 körüli, ami a cement hidratációja során felszabaduló oltott mész (kalcium-hidroxid, $\text{Ca}(\text{OH})_2$) jelenlétére vezethető vissza. Ennek hatására az acélbetétek felületén egy vékony oxidréteg jön létre, amely megvédi az acélt a korróziótól. Ez a passzív állapot mindaddig fennáll, amíg az erősen lúgos közeg stabilan tartja az oxidréteget. Karbonátosodás következtében azonban kialakulnak olyan kisebb pH értékű területek a betonban, amelyek megszüntethetik e réteg folytonosságát, és figyelembe véve, hogy a betonfedés gázok és folyadékok számára átjárható, a beton elektrolitként fog viselkedni, utat engedve ezzel az acélbetétek elektrokémiai korróziójának.

Maga a karbonátosodás a beton felületén indul meg, a szén-dioxid diffúziójával, amit a légkörben lévő magasabb szén-dioxid koncentráció okoz. A szén-dioxid további behatolása a beton pórusainak áteresztő-képességétől és a kémiai reakcióhoz rendelkezésre álló oltott mész mennyiségétől függ.



2. ábra: **Karbonátosodás mélysége** [8]

A karbonátosodott rétegen való áthaladás után már egy kis víz jelenléte mellett is a szén-dioxid reakcióba lép az oltott mésszel, amely folyamat a beton belseje felé halad tovább. Ezzel a beton pórusvizeinek lúgos kémhatása 12.5 pH-ról 8.3 pH-ra redukálódik (2. ábra). Ha a karbonátosodás frontja (az a távolság a beton külső felületétől, ahol már csak 8.3 a pH) eléri az acélbetétek mélységét, akkor megindul az acélbetétek korróziója (3. ábra).



3. ábra: **Karbonátosodás és depassziválódás** [8]

A karbonátosodás sebességét többek között az alábbi négy tényező határozza meg: [8]

- a beton áteresztőképessége,
- a rendelkezésre álló $\text{Ca}(\text{OH})_2$ mennyisége,
- a környezet szén-dioxid koncentrációja,
- a környezeti hatásoknak való kitettség mértéke.

2.3.2. Repedésmentes vasbetonszerkezet karbonátosodás okozta korróziója:

Karbonátosodás okozta korrózió esetén a tervezési élettartam igazolásakor vizsgálandó határállapot az acélbetétek depasszivációja. [6]

Teljes valószínűségi eljárással:

A következő követelmény teljesítendő:

$$p\{ \} = p_{dep} = p\{a - x_c(t_{SL}) < 0\} < p_0$$

ahol:

- $p\{ \}$: a depassziváció bekövetkezésének valószínűsége
- a : betonfedés [mm]
- $x_c(t_{SL})$: karbonátosodási mélység t_{SL} időpillanatban [mm]
- t_{SL} : tervezési élettartam [év]
- p_0 : tönkremeneteli valószínűség határértéke

Az a betonfedés és x_c karbonátosodási mélység értéke valószínűségi eljárással kerül meghatározásra.

Parciális tényezők módszerével:

A következő követelmény teljesítendő:

$$a_d - x_{c,d}(t_{SL}) \geq 0$$

ahol:

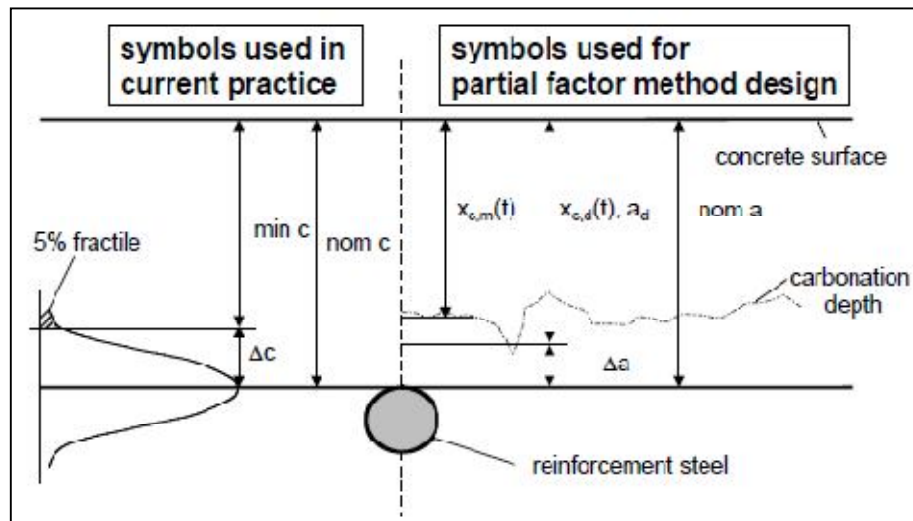
- a_d : betonfedés tervezési értéke [mm]
- $x_{c,d}(t_{SL})$: karbonátosodási mélység tervezési értéke t_{SL} időpillanatban [mm]; a tervezési érték a karakterisztikus érték ($x_{c,c}$) parciális tényezővel szorzott értéke, $\gamma_f=0$

A betonfedés tervezési értéke az alábbi módon számítható:

$$a_d = a_k - \Delta a$$

ahol:

- a_k : betonfedés karakterisztikus értéke [mm]
- Δa : betonfedés biztonsági sávja [mm]



4. ábra: A karbonátosodási mélység és a betonfedés kapcsolata [6]

Kiegészítés:

Az iménti 2.3.2. fejezetben csak repedésmentes beton esetén létrejövő, karbonátosodás okozta acélbetét korrózióról volt szó. Nem szabad elfelejteni, hogy a legtöbb vasbetonszerkezetnél nem így indul be az acélbetétek korróziója, mert a keresztmetszetek általában berepednek az építés után, a terhek felhordásával. Ebben az esetben azonnal megkezdődik az acélbetétek korróziója, mert a repedések következtében már nem mindenhol öleli körül a lúgos kémhatást, és védelmet biztosító beton a betonacélt.

3. Alkalmazott vizsgálati módszerek

3.1. A vizsgált épület rövid ismertetése

Dolgozatomban a budapesti *Várkert Bazár* – jelenleg tervezési fázisban lévő – rekonstrukciója során megépülő mélygarázsának példáján keresztül vizsgáltam, hogy a gépkocsi parkolók födémjei milyen módon méretezhetők különböző terhek, és vasalási paraméterek figyelembe vétele mellett.

A Budai Várbazár rekonstrukciójára és a kapcsolódó közösségi közlekedési fejlesztésekre kiírt közbeszerzési pályázatot a Középülettervező Zrt (KÖZTI) nyerte el, ahol lehetőségem volt „Kutatói, tervezői gyakorlat” eltöltésére a diploma mellett. A KÖZTI-nél *Gurubi Imre* vezető tervező a külső konzulensem, aki kollégáival együtt sok hasznos tanáccsal segíti a munkámat; többek között a következő szakaszban bemutatott végeselemes modellnek a felépítését is az ő hasznos tanácsaik mellett végeztem el.

A mintegy 2000 m² alapterületű, 5 szintes, szinteltolós épület teljes egészében a föld alatt helyezkedik el, a Budai Vár tövében, az Ybl Miklós téren lévő régi Várbazár épület mögött. Tartószerkezete teljes egészében monolit vasbetonszerkezet. A munkagödör határolást hátrahorgonyzott hézagos cölöptámfallal tervezik megoldani a Vár felőli (nyugati) oldalon, ahol kb. 25 méter magas földfalat kell megtámasztani, illetve horgonyzás nélküli cölöpfallal az északi oldalon. A Duna felőli (keleti) oldalon a Várbazárnak egy jelenleg romos, meglévő épülete található, amit szintén rekonstruálnak, és alapozását a mélygarázs mélyebb alapozási síkja miatt jet grouting technológiával megerősítik. A déli oldalon a mélygarázs épületéhez szorosan kapcsolódik egy külön dilatációval az az új épületszárny, ahol multifunkciós tereket alakítanak majd ki. A mélygarázs épületét a jelenlegi tervek szerint cölöpökkel gyámolított lemezalapra építik, ahol a cölöpök nyírásra és húzásra lesznek méretezve a nagy vízszintes földnyomások felvétele érdekében. Komolyabb épületsüllyedéssel nem kell számolni, mert a lavírsíkon agyagmárga alapkőzet található, amely kedvező tulajdonságokkal bír, illetve az épület súlya is kisebb lesz, mint a kiemelt földtömegé.

A háromdimenziós végeselemes modell felépítése a rendelkezésre álló építész, és zsazuzási tervek alapján történt, amiket egy a tartószerkezetekre elkészített közelítő méretfelvétellel egészítettem ki.

3.2. Igénybevételek meghatározása végeelem módszerrel

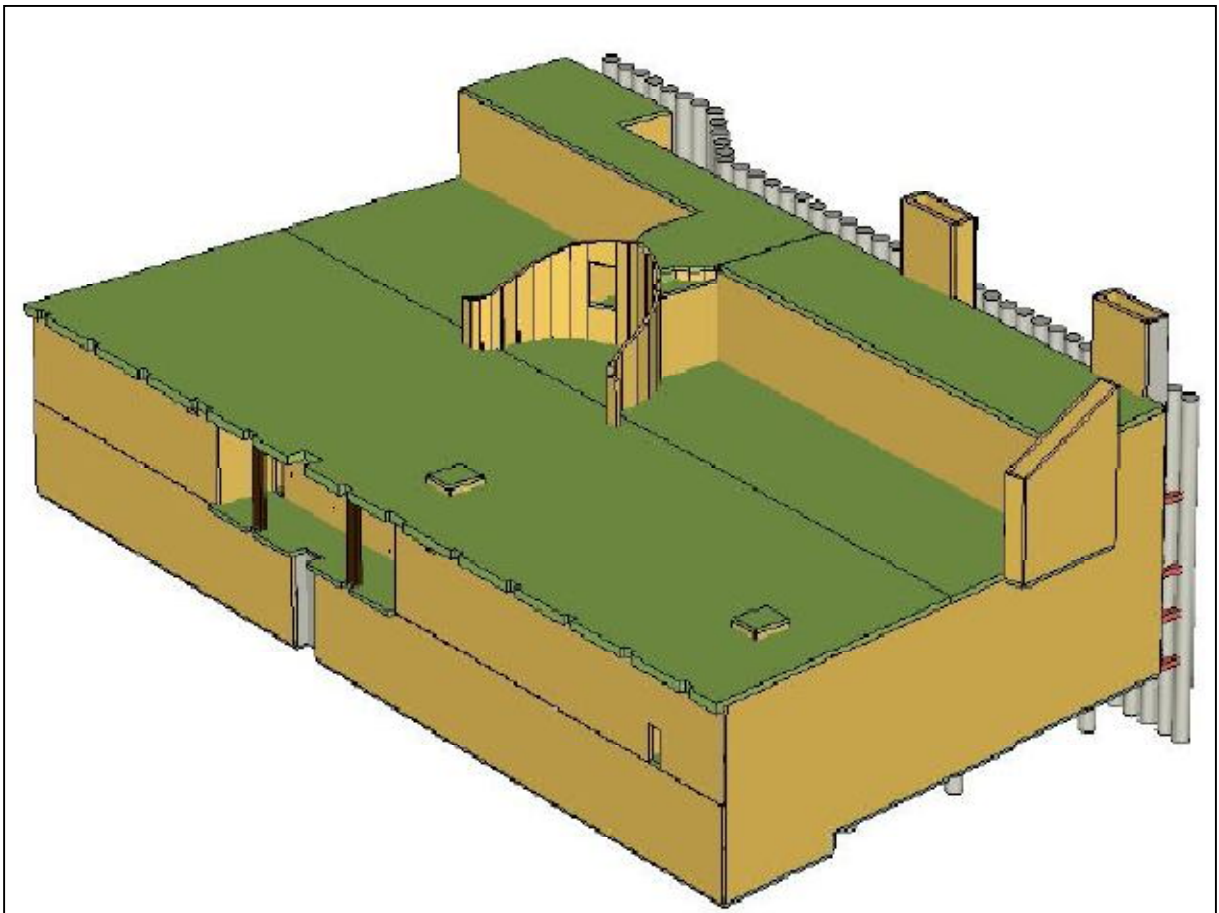
3.2.1. Elemek megadása:

A végeselemes modellt Axis VM programban építettem fel. Az elemek megadása az Axis-ba importált alaprajzi dxf fájlok „átrajzolása” után történt meg. A pillérek és a cölöpök rúdelemként, a födémelek, a felhajtó rámpák, illetve a falak pedig héjelemként lettek definiálva. Az épület a födémelek síkjában, egymástól 1.4 méterenként elhelyezett támgerendákkal kapcsolódik a cölöpfal minden egyes cölöpéhez; ezzel biztosítva azt, hogy a cölöpökről az épületre jutó vízszintes terhek ne a hátfalat, hanem a födémeleket terhelje.

A födémelek anyagminősége C30/37 szilárdságú beton, a függőleges tartószerkezeteké C35/45, a cölöpöké pedig C25/30.

A csomóponti szabadságfokok 3D-s modell lévén szabadra lettek beállítva.

A teljes épületszárny perspektivikus képe látható az 5. ábrán. Az eltérő színek az eltérő anyagminőséget hivatottak jelölni.



5. ábra: Az épület végeselemes modellje

Forrás: Axis VM modell

3.2.2. Támaszok:

A támaszok megadásánál szükség volt a talajfizikai jellemzők ismeretére, amelyeket geotechnikai vizsgálatok után lehetett volna meghatározni, de friss, a rekonstrukcióhoz készített fúrások, szondázások nem készültek. A Geotechnikai és munkatérhatárolási terveket a FŐMTERV Zrt készítette el, akik a közelmúltban végzett vizsgálatok eredményeit használták fel. Az alapozás tervezéséhez szükséges talajfizikai jellemzőket megadták, az Axis modell támaszbeállításai eszerint lettek beállítva.

Megjegyzendő, hogy a hézagos cölöptámfal csak az építés ideje alatt, tehát várhatóan kb. egy-másfél évig képes a vízszintes földnyomások felvételére, mert a merevségének nagy részét biztosító horgonyok olyan technológiával készülnek, amely a horgonyok teljes relaxálódását fogja eredményezni. Ez azt jelenti, hogy ennek bekövetkezése után a cölöpfal csak a befogása révén, igen kis merevséggel fog rendelkezni, így a talajterhek szinte teljes egészét a támgerendákon keresztül az épületre hárítja. Mivel ez igen nagy erőt jelent, ezért volt szükség a támgerendákat a földemek síkjába elhelyezni. Ezáltal a földemek nemcsak síkjukra merőlegesen, hanem síkjukban is terhelt, nyomott-hajlított elemek lesznek.

Az alábbi négy elemtípusra lett támasz megadva, amelyek együttesen biztosítják az épület stabilitását:

- a.) A cölöpfal az alaplemez alá nyúlik, így alsó öt méteres befogási szakasza vonalmenti támaszként, végpontja csomóponti támaszként, a függőleges terhek felvételére alkalmas, rendre $5E+4$ kN/m/m, illetve $1E+9$ merevséggel lett definiálva.
- b.) A lemezalap, mint felületi támasz $4E+4$ kN/m/m² függőleges irányú merevséggel rendelkezik, illetve a vízszintes irányokban $1E+3$ kN/m/m² merevséggel. A vízszintes irányokban való elcsúszási ellenállást az biztosítja, hogy az alaplemez alá nem kerül kavicsfeltöltés, így a márga alapkőzet és a vasbeton lemezalap között viszonylag kedvező nyírószilárdság vehető figyelembe.
- c.) A lemezalapot gyámolító, 3m hosszan lenyúló cölöpök szintén vonalmenti, illetve végükön csomóponti támaszként lettek beállítva, a cölöpfalhoz képest annyiban eltérően, hogy itt a függőleges merevség értéke $1E+5$ kN/m/m értékű.
- d.) A negyedik támasz az épület Duna-felőli oldalán lévő alsó két szinti falra lett definiálva, mint felületi támasz. Itt támaszkodik ugyanis a mélygarázs a meglévő épület alatti, jet grouting technológiával megerősített talajra. A támasz a falra merőleges vízszintes irányú elmozdulásokat gátolja meg, $4E+4$ kN/m/m² merevséggel.

3.2.3. Terhek:

Állandó teherként a tartószerkezet önsúlya, a burkolati rétegek súlya (épületszerkezeti leírások és építésztervek alapján), a beton zsugorodása, illetve az épületet felülről és oldalról terhelő földnyomások lettek megadva.

A vízszintes földnyomásokat Rankine-elmélet szerint számítottam ki, a megadott talajfizikai paraméterek (térfogatsúly, belső súrlódási szög, kohézió) alapján. Hosszú távon a nyugalmi földnyomás az, ami az épületet terheli, mert aktív – tehát ennél kisebb – földnyomás csak akkor alakulhatna ki, ha az épület elmozdulhatna a talaj terhelése elől. Erre viszont itt nincs lehetőség, tekintve, hogy az épület egy zárt, merev dobozként helyezkedik el a munkagödörben. A számított földnyomás értékeket vonal mentén megoszló, lefelé lineárisan növekvő teherként a cölöpfalra helyeztem el.

A födémek igénybevételeinek pontosabb vizsgálata érdekében a zsugorodás hatását is figyelembe vettem teherként a végeelemes számítás során. Mivel az Axisban nincs lehetőség „zsugorodás terhet” megadni, így egy azzal egyenértékű hőmérsékleti terhet helyeztem el a födémeken. A zsugorodás végértéke (ε_{cs} , melynek meghatározását a későbbiekben részletezni fogok) és a beton hőtágulási együtthatója (α) alapján ez egyszerűen számítható, az alábbi módon:

$$\Delta T = \frac{\varepsilon_{cs}}{\alpha} = \frac{0.045\%}{1 \cdot 10^{-5}} = 45^{\circ}\text{C}$$

Esetleges teherként a födémek hasznos terheit vettem fel, ami könnyű gépjárművel terhelt parkolóházak esetén (F használati osztály) 3.0 kN/m^2 .

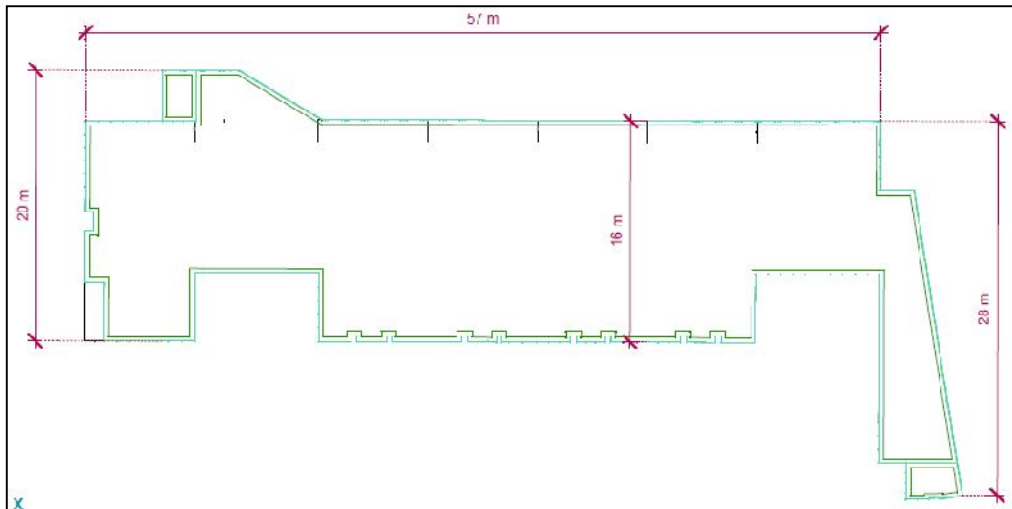
A vizsgálataimhoz négy különböző teherkombinációt adtam meg, kettőt a teherbírasi, és kettőt a használhatósági határállapot vizsgálatához. Mindkét határállapotnál az adja a különbséget, hogy a zsugorodás hatása figyelembe van-e véve vagy sem. A teherkombinációkról szóló táblázatot a Mellékletek c. fejezetben helyeztem el.

3.2.4. Végeelem háló:

Az ajánlott, szerkezeti vastagságok kétszeresének megfelelő kb. 60-80 cm-es háló helyett 1.0 m-es hálót generáltam, tekintetbe véve a modell nagyságából fakadó hosszú számítási időt, illetve azt, hogy az általam vizsgált födémeken nem várható szingularitási helyek megjelenése, ami esetleg indokoltá tenné a háló sűrítését.

3.2.5. Statikai számítás, igénybevételek:

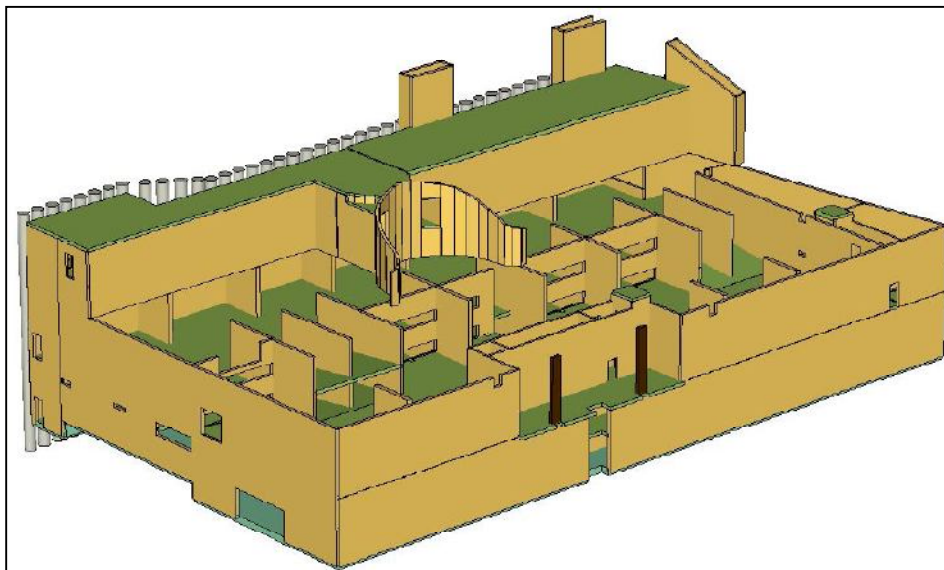
Az igénybevételek meghatározásához lineáris statikai számítást futtattam le. A modellben többféle részletet is megadtam, hogy külön-külön is jól láthatóak legyenek az igénybevételek. A 6. ábrán az általam vizsgált zárófödém alatt elhelyezkedő, közbenső, síklemez födém látható a főbb méreteivel.



6. ábra: A vizsgált födémlemez geometriája

Forrás: Axis VM modell

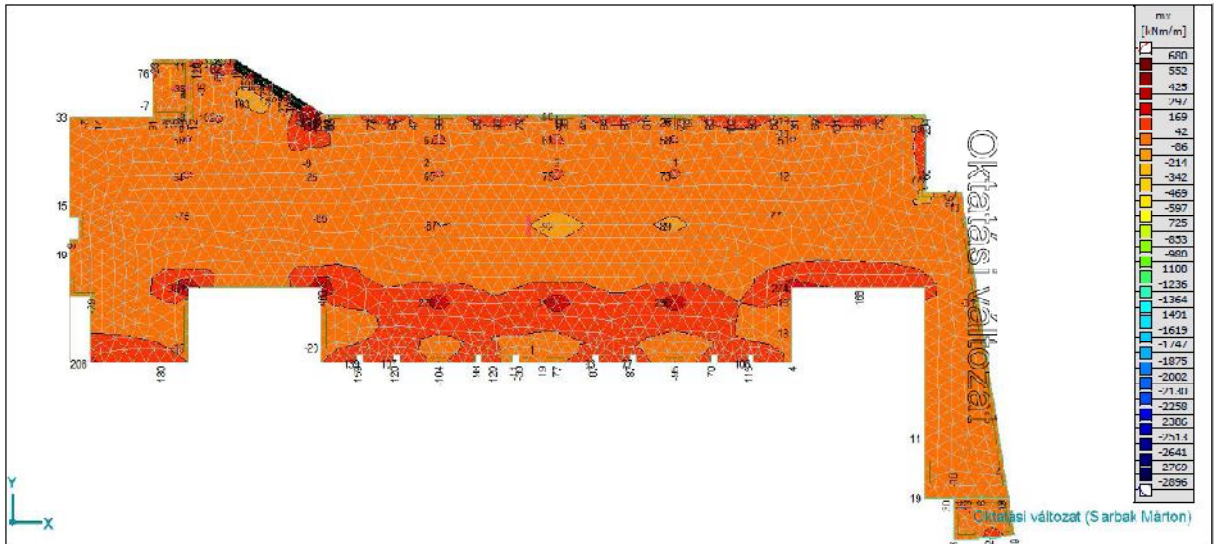
Az igénybevételek vizsgálata előtt tekintsük a 7. ábrát. Itt az látható (a zárófödém láthatóságának kikapcsolásával), hogy az épület hossz tengelyében elhelyezkedő főfalra merőlegesen merevítő falak találhatók, amire az egyes födémek feltámaszkodnak.



7. ábra: Az épület belső teherhordó szerkezetei

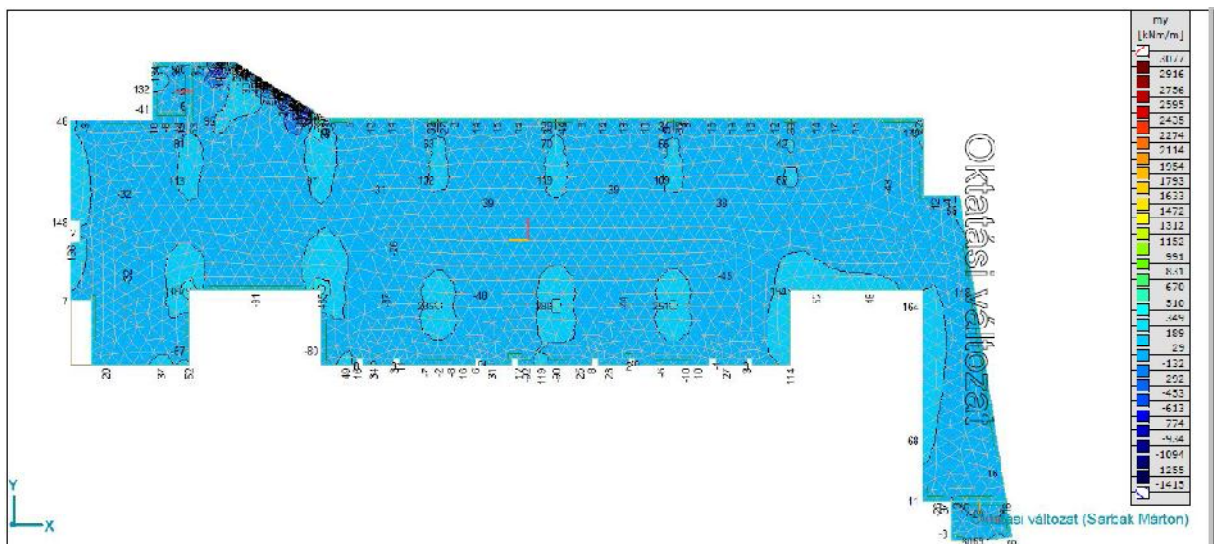
Forrás: Axis VM modell

Ennek azért van jelentősége, mert a fent említett merevítő falak nem folytonosak, csak szakaszosan támasztják alá a födémekeket, és így – hasonlóan a pontonként alátámasztott födémekekhez – a falszakaszok végeinél igen nagy negatív nyomatékok kialakulása valószínű, és ezzel együtt a födémekek átszúródása is mértékadó lehet. A 8. és 9. ábrákon a födémekekben kialakuló m_x és m_y fajlagos hajlítónyomatékok ábrája látható.



8. ábra: Az m_x fajlagos hajlítónyomaték ábrája

Forrás: Axis VM modell



9. ábra: Az m_y fajlagos hajlítónyomaték ábrája

Forrás: Axis VM modell

További, a födémekek méretezéséhez szükséges Axis ábrákat a Mellékletek című fejezetben helyeztem el.

3.3. Födémlemez méretezése különböző feltételek mellett

A mostani, és a későbbi fejezetekben a vizsgált földémlemezre vonatkozóan háromféle verziót fogok bemutatni, illetve esetenként összehasonlítani. Mindhárom esetben ugyanarról a földémről van szó, a különbséget a terhek felvétele – és ezáltal az igénybevételek alakulása –, illetve a földémmel szemben támasztott követelmények adják. Mindhárom esetben az Eurocode előírásai szerint méreteztem.

- 1. eset: A földémlemez csak hajlítónyomatékra (m_x, m_y) méretezve, a zsugorodás és a normálerő figyelembevétele nélkül.
- 2. eset: A földémlemez hajlítás és normálerő együttes hatására (m_x+n_x, m_y+n_y) méretezve, a zsugorodás figyelembevételével.
- 3. eset: A földémlemez hajlítás és normálerő együttes hatására (m_x+n_x, m_y+n_y) méretezve, a zsugorodás figyelembevételével, de repedésmentes-rugalmas állapotra történő tervezéssel. A terhek használati határállapotra vonatkoznak, tehát kvázi-állandó teherkombinációban lettek megadva.

A jobb érthetőség kedvéért az egyes verziók jellemzőit az 5. táblázatban is összefoglaltam.

5. táblázat: A háromféle verzió összehasonlítása

Jellemzők	1. eset	2. eset	3. eset
Hajlítónyomaték figyelembevétele	Igen	Igen	Igen
Normálerő figyelembevétele	Nem	Igen	Igen
Zsugorodás hatása	Nem	Igen	Igen
Repedésmentes/berepedt állapot	Berepedt állapot III. feszültségállapot	Berepedt állapot III. feszültségállapot	Repedésmentes állapot I. feszültségállapot

Mindhárom verzió esetén négy keresztmetszet méretezését végeztem el:

- támasz felett x irányban
- támasz felett y irányban
- mezőközépen x irányban
- mezőközépen y irányban

A méretezés során feltételeztem, hogy átszűrődásra megfelelően vasalt a földém, így csak hajlítási tönkremenetelt vizsgáltam, esetenként normálerővel együttesen. A hajlító igénybevételek esetén a fajlagos csavarónyomaték értékét hozzáadtam a fajlagos x és y irányú hajlítónyomatékok értékéhez. (Azaz Axisban az m_{xv} és m_{yv} értékeket olvastam le.)

A 6. táblázatban az igénybevételek láthatóak, az Axis szerinti előjelekkel. Normálerő esetén a pozitív érték jelent húzást, a negatív nyomást. Hajlítónyomaték esetén pozitívnak tekintendő az, ha a nyomaték a lemez felső szélén okoz húzást.

 6. táblázat: **Igénybevételek**

Teherkombináció	Igénybevétel	Támasz-középen	Támaszok felett
ULS zsugorodás nélkül 1.tk	N_{xv} [kNm]	-627	-565
	N_{yv} [kNm]	23	151
	M_{xv} [kNm/m]	-83	228
	M_{yv} [kNm/m]	0	223
SLS zsugorodás nélkül 2.tk	N_{xv} [kNm]	-470	-427
	N_{yv} [kNm]	15	111
	M_{xv} [kNm/m]	-55	160
	M_{yv} [kNm/m]	0	150
ULS zsugorodással 3.tk	N_{xv} [kNm]	-260	516
	N_{yv} [kNm]	2048	1522
	M_{xv} [kNm/m]	-92	239
	M_{yv} [kNm/m]	-1	221
SLS zsugorodással 4.tk	N_{xv} [kNm]	-198	376
	N_{yv} [kNm]	1514	1127
	M_{xv} [kNm/m]	61	161
	M_{yv} [kNm/m]	-2	144

A következőkben ismertetem a három esetre méretezett földémek adatait.

Közös mindhárom esetben:

- az acélbetétek minősége: **S500B**
- a környezeti kitéti osztály: **XC1**
- illetve a betonfedés értéke: **$c_{alk} = 30\text{mm}$**

3.3.1. Az 1. eset bemutatása:

Az 1. esetben az igénybevételeket az első teherkombinációból vettem, ugyanis ez az, amelyik nem tartalmazza a zsugorodás hatását. A méretezéskor a normálerő hatását elhanyagoltam.

A födém vastagsága $h = 30 \text{ cm}$, a beton minősége **C30/37**.

A 7. táblázatban feltüntettem az egyes keresztmetszetekre vonatkozóan a számított vasalások értékét, illetve a nyomatéki teherbírás kihasználtságát %-ban kifejezve.

7. táblázat: Méretezés az 1. esetben

Km.	$M_{ed, ULS}$ (m_x+m_{xy} , m_y+m_{xy}) [kNm/m]	d_x, d_y [mm]	$x_{c,2}$ [mm]	ξ_c [-]	$A_{s,cal}$ [mm ² /m]	Alk. vasalás			x_c [mm]	M_{rd} [kNm/m]	M_{Ed}/M_{Rd} [%]	
						\emptyset [mm]	t [mm]	$A_{s, alk}$ [mm ² /m]				
Tk. X	83	260	16,5	0,063	758,3	$\emptyset 10 / 100$	785,4	17,0	85,7	96,8	Megfelel!	
Tk. Y	0	240	0,0	0,000	0,0	$\emptyset 10 / 100$	785,4	17,0	78,9	0,0	Megfelel!	
T. f. X	228	260	48,3	0,186	2223,6	$\emptyset 20 / 130$	2416,6	52,4	245,2	93,0	Megfelel!	
T. f. Y	223	240	52,1	0,217	2397,4	$\emptyset 20 / 130$	2416,6	52,4	224,2	99,5	Megfelel!	

A számított vasmennyiségekből jól látható, hogy nyomott vasalásra nincsen szükség. Ez annak tudható be, hogy igen nagy elhanyagolást tettem azzal, hogy a normálerő jelenlétét figyelmen kívül hagytam.

Megjegyzések:

A méretezés pontos menete a Mellékletek fejezetben elhelyezett Mathcad számításban látható.

A 7. táblázat első oszlopában a Tk. rövidítés a támaszközeget jelenti, a T. f. pedig a támasz feletti keresztmetszetre utal.

3.3.2. A 2. eset bemutatása:

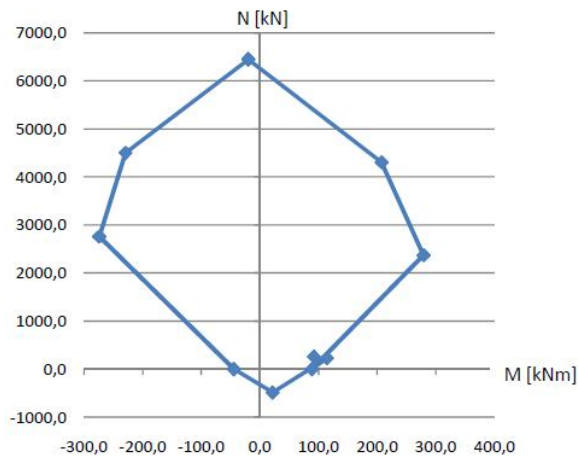
A második esetben a zsugorodás figyelembevétele miatt a harmadik teherkombináció igénybevételeire méreteztem a födémet. A hajlítással egyidejű normálerőre történő ellenőrzést a keresztmetszet teherbírasi vonalának meghatározásával végeztem el. A födém vastagsága továbbra is $h = 30 \text{ cm}$, a beton minősége szintén **C30/37**.

Az alkalmazott vasalás mennyisége a 8. táblázatban látható.

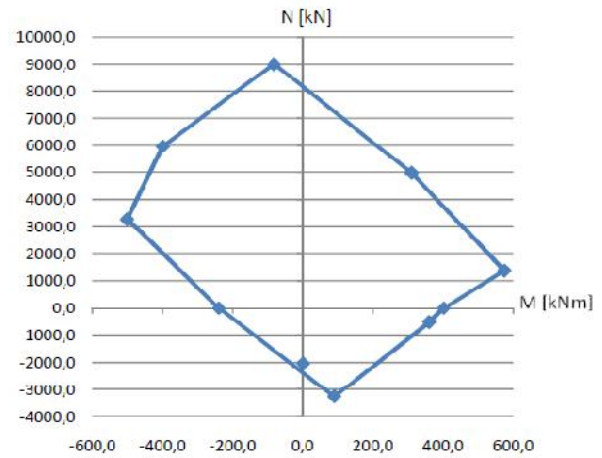
8. táblázat: Méretezés az 2. esetben

Km.	M_{ed} m_{xv}, m_{yv} [kNm/m]	N_{ed} n_{xv}, n_{yv} [kN/m]	e_{ed} [mm]	Húzott oldali alk. vasalás			Nyomott oldali alk. vasalás				
				\emptyset [mm]	t [mm]	$A_{s1, alk}$ [mm ² /m]	d_1 [mm]	\emptyset [mm]	t [mm]	$A_{s2, alk}$ [mm ² /m]	d_2 [mm]
Tk. X	92	-260	-353,8	$\emptyset 10 / 100$		785,4	260	$\emptyset 8 / 150$		335,1	40
Tk. Y	1	2048	0,5	$\emptyset 25 / 100$		4908,7	240	$\emptyset 20 / 120$		2618	60
T. f. X	239	516	463,2	$\emptyset 25 / 120$		4090,8	260	$\emptyset 20 / 150$		2094,4	40
T. f. Y	221	1522	145,2	$\emptyset 25 / 100$		4908,7	240	$\emptyset 20 / 120$		2618	60

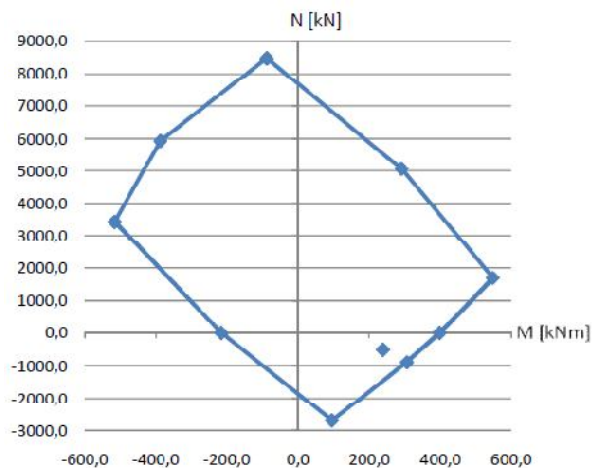
A 10., 11., 12., 13. ábrákon a négy keresztmetszet teherbírasi vonala látható az adott igénybevétel párral. A megfelelés itt ellenőrizhető.



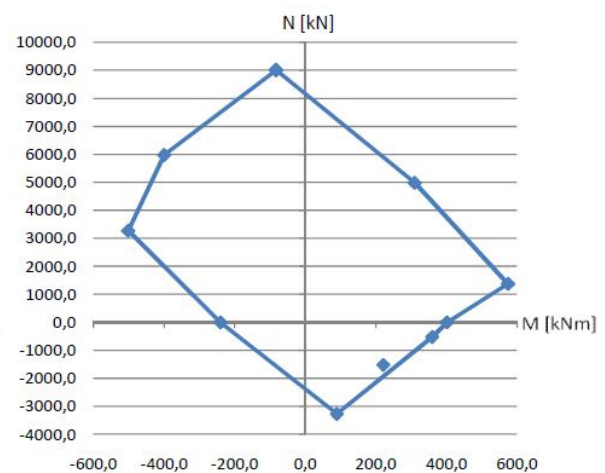
10.ábra: 1.km. (Tk. x) TBV



11.ábra: 2.km. (Tk. y) TBV



12.ábra: 3.km. (T.f. x) TBV



13.ábra: 4.km. (T.f. y) TBV

3.3.3. A 3. eset bemutatása:

Ebben az esetben jelentősen eltért a méretezés az előző két verziótól. A földem rugalmas módon, repedésmentes állapotra lett tervezve. Az igénybevételeket itt a negyedik teherkombináció alapján vettem fel, ami használhatósági határállapot vizsgálatára, kvázi-állandó terhekkel lett megadva. Az ellenőrzéskor azt mutattam ki, hogy a hajlításból és normálerőből keletkező normálfeszültség értéke nem haladja meg a beton húzószilárdságát ($f_{ctm} = 3.21 \text{ N/mm}^2$). Ezzel biztosított a repedésmentesség.

Az alkalmazott lemezvastagság $h = 45 \text{ cm}$ -re, a betonminőség pedig **C35/45**-re nőtt.

A jobb láthatóság kedvéért a méretezést összefoglaló táblázatot kettédaraboltam, ezek (9. és 10.) alább láthatóak.

9. táblázat: Méretezés a 3. esetben

Km.	M_{ed} m_{xv}, m_{yv} [kNm/m]	N_{ed} n_{xv}, n_{yv} [kN/m]	Húzott oldali alk. vasalás				Nyomott oldali alk. vasalás			
			\emptyset [mm]	t [mm]	$A_{s1, alk}$ [mm ² /m]	d_1 [mm]	\emptyset [mm]	t [mm]	$A_{s2, alk}$ [mm ² /m]	d_2 [mm]
Tk. X	61	-198	\emptyset 10 / 200		392,7	115	\emptyset 10 / 200		392,7	35
Tk. Y	2	1514	\emptyset 16 / 100		2010,6	402	\emptyset 12 / 100		1131	48
T. f. X	161	376	\emptyset 25 / 100		4908,7	407,5	\emptyset 20 / 100		3141,6	42,5
T. f. Y	144	1127	\emptyset 32 / 100		8042,5	379	\emptyset 32 / 100		8042,5	71

10. táblázat: Méretezés a 3. esetben

A_{id} [mm ²]	S_{id} [mm ³]	y_{id} [mm]	x [mm]	I_{id} [mm ⁴]	$\sigma_{húz}$ [N/mm ²]	σ / f_{ctm} [-]	Megfelelőség
4,61E+05	2,29E+06	5,0	230,0	8,04E+09	1,24	0,39	Nem reped meg
4,95E+05	8,54E+06	17,3	242,3	9,17E+09	3,10	0,97	Nem reped meg
5,66E+05	2,26E+07	39,9	264,9	1,22E+10	3,10	0,97	Nem reped meg
6,81E+05	3,80E+07	55,9	280,9	1,56E+10	3,21	1,00	Nem reped meg

Jól látható, hogy ebben az esetben is a „Támasz feletti y” irányú keresztmetszet volt a kritikus, itt van szükség a legnagyobb mennyiségű vasalásra, ahogy az 1. és 2. esetben is. A húzott és nyomott oldali vasalások összessége ebben a keresztmetszetben $16085 \text{ mm}^2/\text{m}$, ami még nem haladja meg a szabvány által maximalizált, a betonkeresztmetszet 4%-nak megfelelő vasmennyiséget, ami itt $18000 \text{ mm}^2/\text{m}$.

3.3.4. A három verzió értékelése és összehasonlítása gazdasági szempontból

Miután megkaptam az egyes változatok anyagszükségletét (a lemezvastagság, betonminőség, és betonacél mennyiség függvényében), kiszámítottam, hogy mennyi a bekerülési költsége egy m² födémenek.

Az árak semelyik esetben sem tartalmazzák az ÁFÁT.

Mivel a hangsúly itt nem a teljes bekerülési költségen van, hanem a három verzió közötti különbségen, így a számításaim során nem számoltam a zsaluzat helyszínre szállításának és

felállításának költségével, csupán a megtámasztáshoz szükséges eszközök darabszámának figyelembevételével a bérleti díjakat határoztam meg.

A betonacél mennyiségének számításakor minden esetben egy +20%-os többlettel kalkuláltam, ami az építéshelyi vágások és szerelések következtében fennálló esetleges veszteségek fedezésére szolgál.

A következőkben felsorolom azokat az egységárakat, amelyek számításom alapját képezték. *(az adatokat egyrészt a KÖZTI egy 2011-es munkájának költségvetéséből vettem át, másrészt a kivitelezésben jártasabb kollégák véleménye alapján vettem fel)*

Betonacél munkadíj*:	φ8 és φ10 átmérő esetén:	139.306	Ft/tonna
	φ12 és afölötti átmérő esetén:	91.974	Ft/tonna
Betonacél anyagár:	φ8 és φ10 átmérő esetén:	203.796	Ft/tonna
	φ12 és afölötti átmérő esetén:	201.949	Ft/tonna
Síklemmez betonozásának** munkadíja:	C30/37 betonminőség esetén:	3.331	Ft/m ³
	C35/45 betonminőség esetén:	3.331	Ft/m ³
Síklemmez betonozásának** anyagára:	C30/37 betonminőség esetén:	30.295	Ft/m ³
	C35/45 betonminőség esetén:	31.295	Ft/m ³

* A betonacél tétel tartalmazza a betonacél helyszíni szerelését vízszintes tartószerkezetbe, bordás betonacélból, B 60.50 minőség esetén.

** A betonozás tétel tartalmazza a síklemmez készítését XC1 környezeti osztály esetén, betonszivattyús technológiával, vibrátoros tömörítéssel, 12 cm vastagság felett, kissé képlékeny kavicsbeton keverékkel, CEM I 42.5 pc., $D_{max}=16\text{mm}$.

A betonacél tételeknek a födém 1 m²-re vonatkoztatott értékeit úgy határoztam meg, hogy a négy keresztmetszetben számított húzott és nyomott oldali vasmennyiségeket „elkentem” és fajlagosítottam a teljes födémmezőre. A lehorgonyzási hosszak, toldások és egyéb nem számolt értékek figyelembevétele érdekében azt feltételeztem, hogy a támaszközépre, és a támaszok fölé számolt vasmennyiségek körülbelül a födémmező felére terjednek ki, külön-külön. Az 1. esetben pedig, ahol méretezett vasalás csak a húzott oldalra került mind

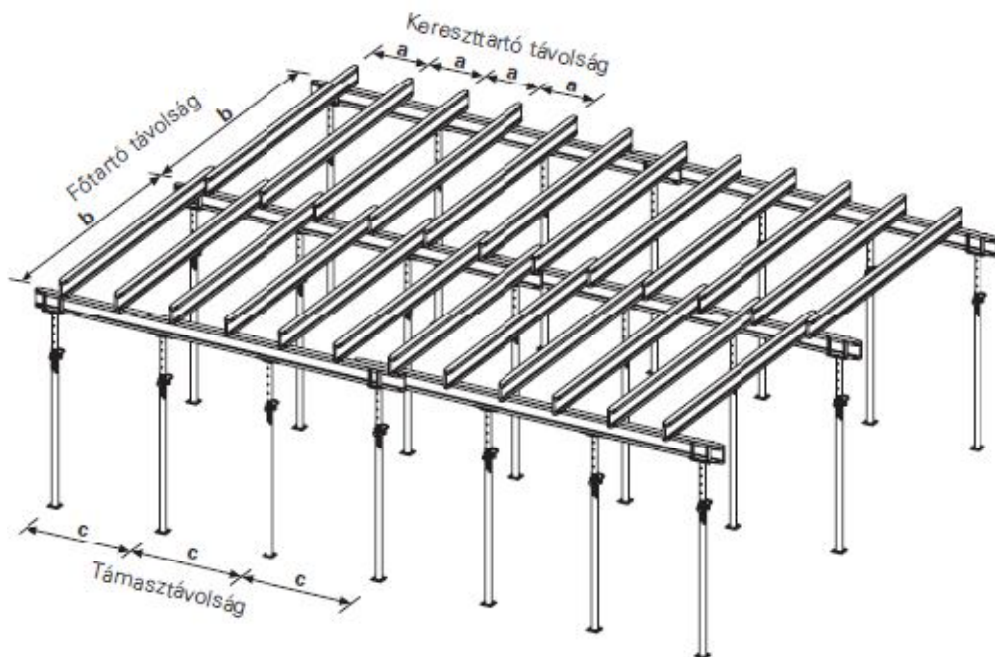
mezőben, mind a támasz fölött, kiszámoltam azt a többletet, ami a mezővasalás 50%-ának a támaszig való végigvezetésekor keletkezik (ezt ugyanis a szabvány előírja).

Ezek alapján az alább felsorolt acélmennyiségek adódtak, négyzetméterenként:

1. eset: 28.84 kg/m²
2. eset: 91.86 kg/m²
3. eset: 110.14 kg/m²

Megjegyzés: ezek az értékek csupán a szükséges acélmennyiségekre adnak tájékoztatást, de a betonacélok költségei nem egyenes úton ezekből az értékekből számíthatóak, mert így nem lenne figyelembe véve az átmérőnkénti eltérő ár.

A zsaluzat költségeit azért szükséges megkülönböztetni, mert míg az 1. és 2. esetben egyaránt 30 cm a födémvastagság, a 3. verziónál már 45 cm, és a másfélszer akkora frissbeton súly masszívabb alátámasztásra szorul. A zsaluzási tétel tartalmazza a síklemez zsaluzását, alátámasztó állvánnyal, fa zsaluzattal, 3.0 m magasságig. A zsaluzathoz szükséges elemek méretfelvételét a [9] szerint végeztem el. A rendszer magyarázatát segíti a 14. ábra.



14. ábra: Multiflex (PERI) zsaluzati rendszer [9]

A méretezési táblázat segítségével különböző födémvastagságok esetén a kereszttartó távolság (a) és a támasztávolság (c) megválasztásával számítható a maximális főtartó távolság (b). Mindezek figyelembevételével a 11. táblázatban látható a zsaluzat bérleti díja a 30cm-es és a 45 cm-es födémvastagság esetén, 100 m²-re vonatkoztatva.

11. táblázat: **Zsaluzat költségei**

30 cm födémvastagság esetén				45 cm födémvastagság esetén			
Tételek	Darab	Napi bérlet [Ft/db/nap]	Bérleti díj [Ft/nap]	Tételek	Darab	Napi bérlet [Ft/db/nap]	Bérleti díj [Ft/nap]
250/50-es tábla	80	37,5	3000	250/50-es tábla	80	37,5	3000
2.9m-es gerenda	46	22,27	1024,42	2.9m-es gerenda	46	22,27	1024,42
4.5m-es gerenda	15	34,56	518,4	4.5m-es gerenda	22	34,56	760,32
Támasz	44	31,46	1384,24	Támasz	66	31,46	2076,36
Háromláb	15	24,3	364,5	Háromláb	22	24,3	534,6
U fej	15	11	165	U fej	22	11	242
			Σ [Ft/nap/100m ²]=				Σ [Ft/nap/100m ²]=
			6456,56				7637,7

Ez alapján visszszámolható, hogy 1 m²-re vonatkoztatva a zsaluzat bérleti díja 645 Ft a 30 cm-es födémvastagság esetén, illetve 765 Ft a 45 cm-es födémnél, naponta. 14 napos zsaluzási idővel számolva megkapjuk a teljes zsaluzási költséget:

A zsaluzat bérleti díja 30 cm-es födém esetén: **9030 Ft/m²**

A zsaluzat bérleti díja 45 cm-es födém esetén: **10710 Ft/m²**

A födémekre számított teljes bekerülési költségvonzat összefoglalása látható a 12. táblázatban.

12. táblázat: Az egyes födémváltozatok bekerülési költsége

	Húzott vasalás [mm ² /m]		Nyomott vasalás [mm ² /m]		Anyagár [Ft/m ²]	Díj [Ft/m ²]	Lemezv., betonmin.	Anyagár [Ft/m ²]	Díj [Ft/m ²]	Zsaluzat bérleti díja [Ft/m ²]	Összesítve [Ft/m ²]
1. eset	∅ 10 / 100	785	-	-	754	545	h = 30 cm C30/37	9089	999	9030	29906
	∅ 10 / 100	785	-	-	754	515					
	∅ 20 / 130	2417	∅ 10 / 200	393	2167	1044					
	∅ 20 / 130	2417	∅ 10 / 200	393	2167	1044					
	összesen:				5842	3148					
20% többlettel:				7010	3778	Σ	Σ	10088	9030	29906	
2. eset	∅ 10 / 100	785	∅ 8 / 150	335	831	467	h = 30 cm C30/37	9089	999	9030	51528
	∅ 25 / 100	4909	∅ 20 / 100	3142	6381	2906					
	∅ 25 / 120	4091	∅ 20 / 150	2094	4903	2233					
	∅ 25 / 100	4909	∅ 20 / 100	3142	6381	2906					
	összesen:				18496	8512					
20% többlettel:				22195	10214	Σ	Σ	10088	9030	51528	
3. eset	∅ 10 / 200	393	∅ 10 / 200	393	625	356	h = 45 cm C35/45	14083	1439	10710	65171
	∅ 16 / 100	2011	∅ 12 / 100	1131	2490	1134					
	∅ 25 / 100	4909	∅ 20 / 100	3142	6381	2906					
	∅ 32 / 100	8042	∅ 32 / 100	8042	12750	5807					
	összesen:				22246	10203					
20% többlettel:				26695	12244	Σ	Σ	15522	10710	65171	

Megismételném, hogy az árak csak tájékoztató jellegűek, nem minden költséget tartalmaznak, tehát a valóságbeli kivitelezéskor nem lehet csak ezekre az árakra támaszkodni.

A végeredményből az látható, hogy a néhány hatást figyelmen kívül hagyó 1. esetben (ami egy kevésbé körültekintő és alapos mérnök munkája lehet) a födém négyzetméterenkénti kivitelezési költsége mintegy harmincezer Ft. Ezzel szemben a terhek pontos figyelembevételével, hagyományos/megszokott módon tervezett 2. esetben ez az érték már kicsivel több, mint ötvenezer forint. A 3. verziónál viszont – ahol repedésmentes födémeket tudunk biztosítani – az ár megnő, körülbelül hatvanöt ezer forintra.

A 3. verzió esetén tervezett födém tehát nagyjából 26%-kal nagyobb befektetés árán valósítható meg, mint a 2. verzió esetén. Az 1. verzióhoz nem érdemes viszonyítani, mert az egészen más teherszintre lett méretezve, így közvetlenül nem összehasonlítható a 2. és 3. esetekkel. Elgondolkodtató tehát, hogy vajon megéri-e a repedésmentes állapotra tervezni egy födémeket. Ez a többletköltség nem kevés, azonban lehetséges, hogy az épület tervezett élettartama alatt (50 év) sokkal kevesebb vagy akár semmiféle karbantartási munkára nem kellene további kiadásokat és energiát fordítani. A 2. esetben tervezett födém esetén viszont – hiába vettünk számításba minden lehetséges terhet – várhatóan jelentkezni fognak kisebb-

nagyobb állagromlási gondok, a repedések következtében hamarabb megindul a betonacél korróziója, megnőnek az alakváltozások stb.

A tartósságát, jövőbeni hatásokkal szembeni viselkedését nehéz megjósolni ezeknek a földemeknek. Azonban meglévő épületek földemjeinek megtörtént káreseményeire hagyatkozva nagyjából megbecsülhető, hogy milyen fenntartási költségekkel számolhatunk a tervezett élettartam során. A következőkben ezt részletezem.

A nem repedésmentesre tervezett földemek esetén várható karbantartási költségekről:

Egy nemrégiben megépült, a Várkert Bazárhoz hasonló méretű és kialakítású mélygarázs vizsgálata során kiderült, hogy a földemen – és a falakon is – már 6-8 év elteltével jelentős mennyiségű és tágasságú repedések keletkeztek, főként a gátolt lassú alakváltozások hatására. Ettől persze még nem biztos, hogy az általam vizsgált földém esetén is előfordulhatnak majd ilyen problémák, de az eset nem egyedi. Erre mutat példát a 15. és 16. ábra.



15. ábra: **Zsugorodásból származó repedések egy mélygarázs földemen**

A földemen kialakult repedéseket összesítettem, és meghatároztam, hogy körülbelül hány négyzetméternyi repedés jut a földém egy négyzetméterére. Ezek alapján, bizonyos évenkénti újbóli felújítást feltételezve, meghatározható, hogy várhatóan mekkora karbantartási költséggel kell számolnunk egy teljes élettartam alatt.



16. ábra: Födémén átmenő repedés esetén megjelenő átázás

A vizsgált $\sim 2000 \text{ m}^2$ alapterületű, többszintes mélygarázs födémjein az alábbi repedéstágasságokat és hosszokat számoltam össze:

0.20 mm repedés:	47.8 m
0.25 mm repedés:	24.1 m
0.30 mm repedés:	49.6 m
0.35 mm repedés:	2.3 m
0.40 mm repedés:	46.1 m
0.50 mm repedés:	14.3 m
0.60 mm repedés:	4.6 m
összesen:	188.8 m, az $5 \cdot 2000 \text{ m}^2$ -re,
vagyis mintegy	0.0222 milliméternyi repedés négyzetméterenként.

Egy méter hosszú repedést körülbelül fél négyzetméternyi repedésnek feltételezve ez körülbelül 0.011 m^2 repedés négyzetméterenként.

A födémeken kialakult repedések helyreállításának egy módját bemutatnám, a Sika által forgalmazott anyagok és technológiák felhasználásával [10], egy a Várkert Bazárnál is tervezett *meglévő padlóburkolat feltételezésével*:

2 mm vastagságú, enyhén csúszásgátolt, gépjárműterhelésre alkalmas, rugalmas, repedésáthidaló műgyanta bevonat

Helyreállítási javaslat: (az alábbiakban felsorolt Sika termékek Műszaki adatlapját a Mellékletek c. fejezetben helyeztem el)

Repedések lezárása rugalmas anyagokkal:

1. A repedések környezetében az alapfelületek előkészítése szükséges.
2. A repedéseket a földem alsó és felső síkjában (amennyiben átmenő repedések) is meg kell tisztítani, és fel kell bővíteni, legalább 4-5 mm szélességűre és 4-5 mm mélységűre.
3. Rugalmas ragasztás esetében a földem alsó és felső síkjában is ki kell tölteni a repedést Sikadur-51 hézagtömítő anyaggal.

$$A+D= 4.500,-FT+Áfa/m^2$$

Bevonatok felújítása:

Az általános burkolat felújításoknál a rugalmas bevonatokat, melyek vagy a repedésekig vagy a képzett hézagokig futnak, a következők szerint javasolt felújítani:

Felület-előkészítés, Sikafloor-156, vagy Sikafloor-161 epoxigyanta kötőanyaggal történő alapozás, Sikafloor-354/358 bevonattal történő fedőbevonat készítés 2 rétegben. A készítendő felújítás rétegvastagsága kb. 1,5-2,0 mm legyen.

$$A+D= 6.000,-FT+Áfa/m^2$$

Ez a helyreállítás 10500 Ft/m², amit ha megszorozok az általam számolt 0.011m²/m²-nyi repedéssel, akkor azt kapom, hogy a földem minden négyzetméterére 113 Ft + Áfába kerül egy ilyen javítás. Ez a megoldás természetesen nem végleges, mert a hibának nem a kiváltó okát szünteti meg, hanem csupán a látható jeleit fedi el. A tartószerkezetek továbbra is mozgásban lesznek, így a repedések újbóli megnyílása bizonyos időközönként várhatóan bekövetkezik majd. Erre mutat példát a 17. ábra, ahol jól látható, hogy a repedések a felújítás után is megjelentek. A fehér sáv a már javított rész.

Azt feltételezve, hogy egy 50 évre tervezett épület földemjein ilyen jellegű repedések kb 6-8 évente újból megjelennek, kiszámítható, hogy nagyjából 1000 Ft-tal számolhatunk felújítási/karbantartási költségként, négyzetméterenként, a teljes tervezett élettartamra.

Ez a többletköltség valószínűsíthetően nem jelentkezne a 3. esetben tervezett repedésmentes földem élete során.



17. ábra: Javítás után újból megjelenő repedés

A 2. és 3. esetben tervezett földemek teljes költségvonzatának összehasonlítása:

A 12. táblázatban kiszámoltam a földemek bekerülési költségeit, azonban a repedésmentes állapotra tervezett (2. eset) földemnél számolni kell a karbantartási/felújítási költségekkel is, ha a teljes tervezett élettartamára vonatkozó költségeket szeretnénk látni. A körülbelül ezer forintos négyzetméterenkénti felújítási költséget hozzáadva a bekerülési költséghez a 2. esetben tervezett földem összköltsége **52.528 Ft/m²/50 év**. A repedésmentesre tervezett, 3. esetként emlegetett földem összköltsége **65.171 Ft/m²/50 év**.

A két érték közötti eltérés körülbelül 24%, azonban ez várhatóan egy kissé mérséklődik, ha tekintettel vagyunk arra, hogy a jövőbeli felújítási költségek szinte bizonyosan drágulni fognak.

3.4. Tartóssági tervezés valószínűségelméleti alapon

A tartószerkezetet úgy kell méretezni, hogy a tervezési élettartama alatt végbemenő elhasználódások mellett a teljesítőképessége – az adott környezeti hatások és előírányzott karbantartások mellett – ne csökkenjen egy előre definiált szint alá. [11]

Egy szerkezeti elem tartóssága megfelelőnek tekinthető, ha a tönkremeneteli valószínűsége nem halad meg egy adott értéket a teljes tervezett élettartama során. [12] A szerkezet tönkremenetele többek között a teherbírási és a használhatósági határállapotokkal

jellemezhető. A szerkezet tönkremenetelének valószínűségét – azaz határállapotba kerülését – több különböző, időben változó valószínűségi változó határozza meg. Dolgozatom utolsó, és talán legérdekesebb részében e valószínűségi változók felvétele után különböző időpillanatokban vizsgáltam a három fent részletezett tartószerkezeti variáns hajlítási tönkremenetelének valószínűségét. A szerkezet megfelelősége a kiszámított tönkremeneteli valószínűségi szint és egy előre definiált, optimális kockázati szint összehasonlításával dönthető el [13]. A tönkremenetel valószínűségének határértékét a hatályos Eurocode szabvány a $p_{opt}=10^{-4}$ értéken határozta meg.

3.4.1. A szerkezeti elemek tönkremeneteli valószínűségének meghatározása

Egy tartószerkezet tönkremeneteli valószínűségének meghatározásához ismernünk kell a terhelés illetve a teherbírás valószínűségi eloszlását leíró paramétereket. A terhelés statisztikai jellemzőit szakirodalom [5] alapján vettem fel, a teherbírását pedig szórásanalízissel határoztam meg. A szórásanalízis a leggyakoribb analitikus megoldások egyike, amely a keresztmetszetre lokálisan ható erőket hasonlítja össze a keresztmetszet teherbírásával. [12] A megoldás nem olyan pontos, mint pl. a Monte- Carlo szimuláció vagy a sztochasztikus végelem-módszer, viszont számításigénye sokkal kisebb.

A vizsgált födémlemezek különböző időpontokban számítható tönkremeneteli valószínűségét normális eloszlású sűrűségfüggvények felhasználásával határoztam meg, a hatás és ellenállás oldali ferdeség hatását elhanyagoltam.

A tönkremeneteli valószínűséget az alábbi kifejezéssel határoztam meg:

$$p_G = P[G < 0] = \Phi\left(\frac{0 - M_G}{s_G}\right) = \Phi(-\beta) = 1 - \Phi(\beta)$$

ahol:

- p_G : a tönkremenetel valószínűsége
- M_G : a G függvény várható értéke
- s_G : a G függvény szórása
- β : a megbízhatósági index, amely itt az M_G/s_G hányadossal határozható meg
- G : a nyomatéki teherbírás és a lemezben ébredő hajlítónyomaték különbségével képzett ún. teljesítményfüggvény

A fenti összefüggésből kiderül, hogy a teherbírás megfelelőségének igazolásához a G teljesítményfüggvény várható értékére és szórására van szükségünk, melyeket az alábbi

módon, a szerkezeti ellenállás (R) és a lemezre ható igénybevétel (S) várható értéke és szórása alapján számíthatunk. Így tehát a G függvény várható értéke:

$$M_G(t) = M_R(t) - M_S(t)$$

ahol $M_R(t)$ az ellenállás várható értéke, $M_S(t)$ pedig a terhelés várható értéke az idő (t) függvényében.

A G függvény szórása a Gauss-féle hibaterjedési törvény értelmében az alábbi összefüggéssel számítható:

$$s_G(t) = \sqrt{s_R(t)^2 + s_S(t)^2}$$

ahol $s_R(t)$ az ellenállás szórása, $s_S(t)$ pedig a terhelés szórása az idő függvényében.

3.4.2. A teherbírás várható értékének meghatározása

A teherbírás várható értékének meghatározását Mathcad programban végeztem el, amelyről számítási mellékletet készítettem. A számításhoz a bemenő adatok (geometria, anyagjellemzők) várható értékét használtam fel. Vizsgálódásaim során csak a teherbírási határállapottal foglalkoztam, és továbbra is feltételeztem azt, hogy a földemek átszűrődés ellen megfelelően vasaltak, így a tönkremenetel várható módja hajlítási tönkremenetel.

3.4.3. A teherbírás szórásának meghatározása

A több lehetséges mód közül (Monte-Carlo szimuláció, sztochasztikus végeelem-módszer) a szórásanalízis segítségével határoztam meg a teherbírás statisztikai jellemzőit. Ez pontos számítás esetén úgy történne, hogy a nyomatéki teherbírás várható értékét (M_{Rdm}) az összes valószínűségi változóként kezelt paraméter (geometriai méretek, szilárdsági értékek) szerint deriváljuk. Mivel a gyakorlatban a hajlítási ellenállás néha nem írható fel egyszerű, zárt alakban a bemeneti paraméterek függvényeként, így az eljárás alkalmazása meglehetősen nehézkes lehet. Ezért ezt közelítően a teherbírás változását (ΔM_R) számítottam ki úgy, hogy egy-egy bemenő paramétert (pl. b lemezszélességet) egy kicsiny mértékben megváltoztattam (1 %-kal megnöveltem, azaz $\alpha = 1.001$ értékkel megszoroztam), és az eszerint kiszámolt új, kissé megváltozott ($M_{Rdm,b}$) meghatározása után felírtam a differenciáhányadost. Ennek abszolútértéke adta a nyomatéki teherbírás szórását az adott bemeneti paraméter függvényében.

A jobb érthetőség kedvéért felírtam a hányadost a b lemezszélesség esetére:

$$\Delta_{MR,b} = \left| \frac{M_{Rdm} - M_{Rdm,b}}{b - b \cdot \alpha} \right|$$

A nyomatéki teherbírás ilyen jellegű megváltozását felírtam az összes valószínűségi változóként kezelt paraméter esetére (lemezszélességre, hasznos magasságra, beton nyomószilárdságra, betonacél folyáshatárra és a beton rugalmassági modulusára).

Ezek alapján a nyomatéki teherbírás (s_{MRd}) szórását az egyes (Δ_{MR}) szórásoknak a változó paraméter szórásával (s_i) képzett szorzatának négyzetösszegeként kaptam meg, négyzetgyökvonás után, az alábbiak szerint:

$$s_{MRd} = \sqrt{\sum_i (\Delta_{MRi} \cdot s_i)^2}$$

3.4.4. A bemenő adatok kiindulási értékeinek meghatározása

Mivel a vizsgálat tárgyát képező födém még nem épült meg, így mintavételre, és laborkísérletekre nem volt lehetőség. Ehelyett régebbi, más munkák során felhasznált laboreredményekre támaszkodtam, és a statisztikai jellemzőket ez alapján vettem fel. A betonszilárdság átlagértékét és szórását kocka próbatestek törőkísérleti eredményei alapján vettem fel. Az átlagérték szinte teljesen megegyezett a szakirodalmi adatokkal [7], a szórás értéke pedig 18%-ra adódott. A beton rugalmassági modulusát szintén valószínűségi változóként kezeltem, 4%-os szórással, a kísérleti eredményekből visszszámolva. Átlagérték a szakirodalmi adatok alapján vettem fel. A betonacélok szilárdságának átlagértékét és szórását szakítókísérletek eredményei alapján vettem fel, a szórás itt 5.5%-ra adódott.

További valószínűségi változók a keresztmetszet geometriai méretei voltak (lemezszélesség, lemezmagasság illetve az acélbetétek hasznos magasságai). Az átlagérték minden esetben a terv szerinti érték volt, a szórást pedig ismételten régi, előregyártott elemeken végzett vizsgálatok eredményei alapján határoztam meg. Mivel előregyártott elemeknél is jellemző volt az 5% körüli szórás, így jelen esetben – monolit szerkezetről lévén szó -, 7%-os szórást vettem fel.

3.4.5. A bemenő adatok időbeli változása

A nyomatéki teherbírás számításához szükséges bemenő adatok előző pontban ismertetett kezdeti értékei időben nem maradnak állandók. A környezeti hatások következtében értékük módosulni fog, és ezáltal a tartó viselkedése is. Kutatásom során meghatároztam e paraméterek időbeli változása mellett a födémlemez lassú alakváltozását (kúszás, zsugorodás), repedésmentes esetben a beton karbonátosodását, illetve mindhárom esetben az acélbetétek korróziójának mértékét, továbbá a terhelés időbeli módosulását is. E

számításokat összefoglalóan az alábbiakban részleteztem, pontosítva pedig a Mellékletekben található meg.

A beton és betonacél szilárdságának változása:

A két anyag szilárdsága nagy hatással van a teherbírásra, és mivel várható értékük a természetes öregedési folyamatoknak köszönhetően csökken, szórásuk pedig nő, így fontos ezen folyamatok pontos modellezése, és a számításbeli figyelembevétele. A szilárdság várható értékének időbeli alakulását mutatja az alábbi összefüggés,

$$f_m(t) = f_{m0} \cdot \beta(t)$$

ahol:

- $f(t)$: a szilárdság várható értéke egy adott t időpontban
- f_0 : a szilárdság kezdeti értéke
- $\beta(t)$: a szilárdságcsökkenést leíró függvény

Ha t_0 az az időtartam, ami alatt egy anyag szilárdsága zérusra csökken, akkor a szilárdságcsökkenést leíró $\beta(t)$ függvény Taylor-sorba fejtett alakja:

$$\beta(t) \cong 1 - \frac{1}{3} \left(\frac{t}{t_0} \right)^2 - \frac{1}{3} \left(\frac{t}{t_0} \right)^3 - \frac{1}{3} \left(\frac{t}{t_0} \right)^4$$

A t_0 értéke az anyag típusától, felhasználási feltételeitől, karbantartási minőségének függvényében 50-1000 év között mozoghat. A számítás során én t_0 értékét 500 évben határoztam meg.

A szilárdság szórásának változását a Gauss-folyamat segítségével írhatjuk le:

$$s_f(t) = \sqrt{s_{f0}^2 \cdot \left[1 + b \left(\frac{t}{t_0} \right)^k \right]}$$

ahol:

- $s_f(t)$: a szilárdság szórása adott t időpontban
- s_{f0} : a szilárdság szórásának kezdeti értéke a $t=0$ időpontban
- b, k : konstansok, melyek a szórás növekedésének ütemét írják le; szakirodalmi adatok alapján beton esetén $b=1.5$, $k=1$; betonacélra pedig rendre 1.4 és 1.2.

Az acélbetétek korróziója:

Normál légköri viszonyok esetén a betonacél keresztmetszetének változását a következőképp jellemezhetjük:

$$\varnothing(t) = \varnothing_0 - 0,0232 \int_0^t i_{corr}(t) dt$$

ahol:

- \varnothing_0 : a betonacél eredeti, korrózió előtti átmérője
- t : a korrózió időtartama
- $i_{corr}(t)$: a korróziósűrűség adott t időpontban

$$i_{corr}(t) = 37,8 \frac{(1 - v/c)^{-1,64}}{a} \cdot 0,85 \cdot t^{-0,29}$$

ahol:

v/c a beton víz-cement tényezője. Számításaim során ennek értékét 0.45-re vettem fel.

Ezek alapján a vasalás keresztmetszeti területe bármely t időpillanatban számítható:

$$A_s(t) = \varnothing(t)^2 \cdot \frac{\pi}{4}$$

ahol t a korrózió megindulása óta eltelt idő. A háromféle verzió között ezen a ponton igen nagy különbség várható, ugyanis repedésmentes szerkezet esetén ez az idő nem egyenlő a beton korával, mint berepedt állapot esetén (nem sokat tévedünk azzal a feltételezéssel, ha azt mondjuk, hogy mivel a zsugorodási repedések röviddel az építés után megjelennek, így a korrózió időtartama megegyezik a szerkezet korával). Repedésmentes keresztmetszet esetén az acélbetétek korróziója csak a beton karbonátosodása után indul meg, amihez esetenként évekre, évtizedekre van szükség.

A beton karbonátosodása:

A karbonátosodott beton mélysége t időpillanatban az alábbi összefüggés szerint számítható:

$$x_c(t) = \sqrt{2 \cdot k_e \cdot k_c \cdot (k_t \cdot R_{ACC,0}^{-1} + \varepsilon_t) \cdot C_s} \cdot \sqrt{t} \cdot W(t)$$

ahol:

- k_e : környezeti függvény
- k_c : gyártási tényező
- $k_t=1.25$: regressziós paraméter
- $R_{ACC,0}^{-1}$: az inverz hatékony karbonátosodási ellenállás (rendszerint

gyorsított karbonátosodási kísérlettel meghatározva)

- $\varepsilon_r=315.5$ (mm²/év)/(kg/m³) a gyorsított karbonátosodási kísérlet pontatlanságát figyelembe vevő tényező
- C_s : a CO₂ koncentráció
- $W(t)$: az időjárásfüggvény

A k_e környezeti függvény az RH relatív páratartalom függvényében számítható.

$$k_e = \left(\frac{1 - \left(\frac{RH_{real}}{100} \right)^5}{1 - \left(\frac{65}{100} \right)^5} \right)^{2,5}$$

ahol RH_{real} [%] a karbonátosodott réteg páratartalma. Ennek értékét ugyanúgy 60%-ra vettem fel, mint a levegő RH páratartalmát.

A gyártási tényező:

$$k_c = \left(\frac{t_c}{7} \right)^{-0,567}$$

ahol t_c a beton utókezelése napokban; a számításban 7 napra vettem fel.

Az inverz hatékony karbonátosodási ellenállás pontosabb adatok hiányában az alábbi táblázat alapján határozható meg:

13. táblázat: Az inverz hatékony karbonátosodási ellenállás értékei [6]

$R_{ACC,0}^{-1}$ [10^{-11} (m ² /s)/(kg/m ³)]	v/c tényező					
Cement típusa	0,35	0,40	0,45	0,50	0,55	0,60
CEM I 42.5 R	-	3,1	5,2	6,8	9,8	13,4
CEM I 42.5 R + FA (k=0,5)	-	0,3	1,9	2,4	6,5	8,3
CEM I 42.5 R + SF (k=2,0)	3,5	5,5	-	-	16,5	-
CEM III/B 42.5	-	8,3	16,9	26,6	44,3	80,0

Számításom során CEM 42.5 N típusú cement alkalmaztam, de mivel ilyen nem szerepel a táblázatban, így a CEM 42.5 R típusú cementre vonatkozó $3.1 \cdot 10^{-11}$ (m²/s)/(kg/m³) értéket vettem alapul, v/c=0.45 víz-cement tényező mellett.

A szén-dioxid koncentráció két részből tevődik össze:

$$C_s = C_{s,atm} + C_{s,emi}$$

ahol $C_{s,atm}$ a légkör CO_2 koncentrációja [kg/m^3] és $C_{s,emi} = 1.1 \cdot C_{s,atm}$ a CO_2 koncentráció növekedése az emissziós források következtében. A légkör jellemző CO_2 tartalma 350-380 ppm, ami 0,00057-0,00062 kg/m^3 CO_2 koncentrációnak felel meg. A CO_2 koncentráció növekedése évente körülbelül 1,5 ppm ($1,628 \cdot 10^{-6} \text{ kg}/\text{m}^3$). A számítás során az alábbi összefüggésből számítottam az aktuális CO_2 koncentrációt:

$$C_s(t) = 1.1 \cdot (0,00057 + t \cdot 1,628 \cdot 10^{-6}) \text{ [kg}/\text{m}^3]$$

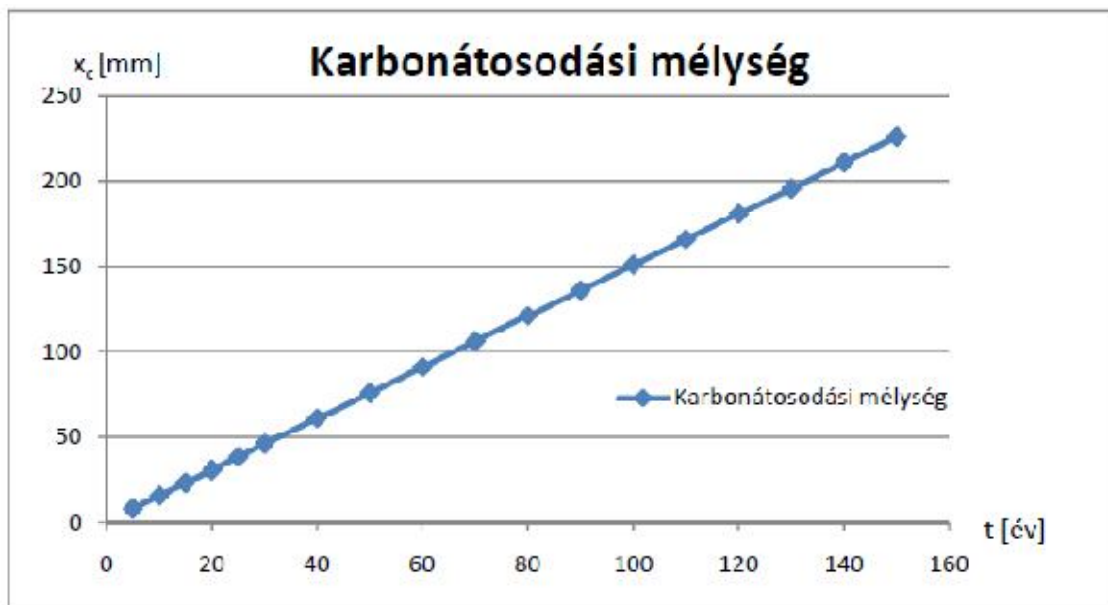
ahol t az eltelt idő években.

Beltéri szerkezetről lévén szó, a földem nincs közvetlen időjárás hatásoknak kitéve, így konstans $W(t) = 1$ időjárásfüggvénnyel dolgoztam.

A karbonátosodási mélység időbeli alakulását mutatja a 18. ábra.

A korábban említetteknek megfelelően – repedésmentes szerkezet esetén – a betonacélok korróziója abban a t_c időpontban indul meg, amikor az x_c karbonátosodási mélység megegyezik az a betonfedéssel. A t_c karbonátosodási idő tehát az $a = x_c(t_c)$ összefüggésből számítható. Elvégezve a számításokat $a=30\text{mm}$ -es betonfedéssel, $t_c=19.539$ évet kaptam a betonacélok korróziójának kezdeti időpontjára.

Ezek alapján a korrózió időtartama pedig $t-t_c$ értékkel lesz egyenlő, ahol t a szerkezet építése és a vizsgált időpont között eltelt idő.



18. ábra: Számított karbonátosodási mélység az idő függvényében

Terhek időbeli változása:

Vizsgálatom során a földem önsúlya, és a hasznos teher (gépkocsi parkoló) értéke volt valószínűségi változóként figyelembe véve. Az önsúly várható értéke a lemezvastagság és a vasbeton sűrűségének szorzataként számítható:

$$g(t) = f[h(t), \rho_{rc}]$$

ahol $h(t)$ a lemez vastagsága az idő függvényében, ρ_{rc} pedig a beton térfogatsúlya, 25 kN/m^3 .

Az önsúly szórását a változók szórásainak számításba vételével határozhatjuk meg az alábbi módon:

$$s_g(t) = \sqrt{\left(\frac{\partial f[h(t), \rho_{rc}]}{\partial h} s_h\right)^2 + \left(\frac{\partial f[h(t), \rho_{rc}]}{\partial \rho_{rc}} s_\rho\right)^2}$$

ahol s_h és s_ρ a földemvastagság és a vasbeton sűrűségének szórásai. Irodalmi adatok alapján a vasbeton beton sűrűségének relatív szórását 4 %-ra vettem fel.

A hasznos földemteher esetén az eloszlás nem független a megfigyelés időtartamától, tehát az időnek is sztochasztikus függvénye lesz. Irodalmi adatok alapján a teher élettartam-
valószínűségnek 10 %-át tekinthető tartós tehernek. A hasznos teher éves maximumai I. típusú extrémális eloszlással jellemezhetők, melynek várható értéke az idő függvényében:

$$q_m(t) = q_0 \cdot \sqrt{1 + \frac{0,577216}{\lambda} + \frac{\ln t}{\lambda}}$$

ahol q_0 a hasznos teher kezdeti értéke, t a vizsgálat időpontja években, λ pedig az eloszlás paramétere:

$$\lambda = \frac{\pi}{\sqrt{6} \cdot 0,35793}$$

A hasznos teher szórását a kezdeti szórás (s_{q0}) függvényében számíthatjuk:

$$s_q = s_{q0} \sqrt{6 \frac{\pi^2}{\lambda^2}}$$

A teher várható értéke az idő függvényében az önsúly és hasznos teher összegeként adódik:

$$p_m(t) = g_m(t) + q_m(t)$$

A teher szórását közelítőleg a Gauss-féle hibaterjedési törvény segítségével fejeztük ki:

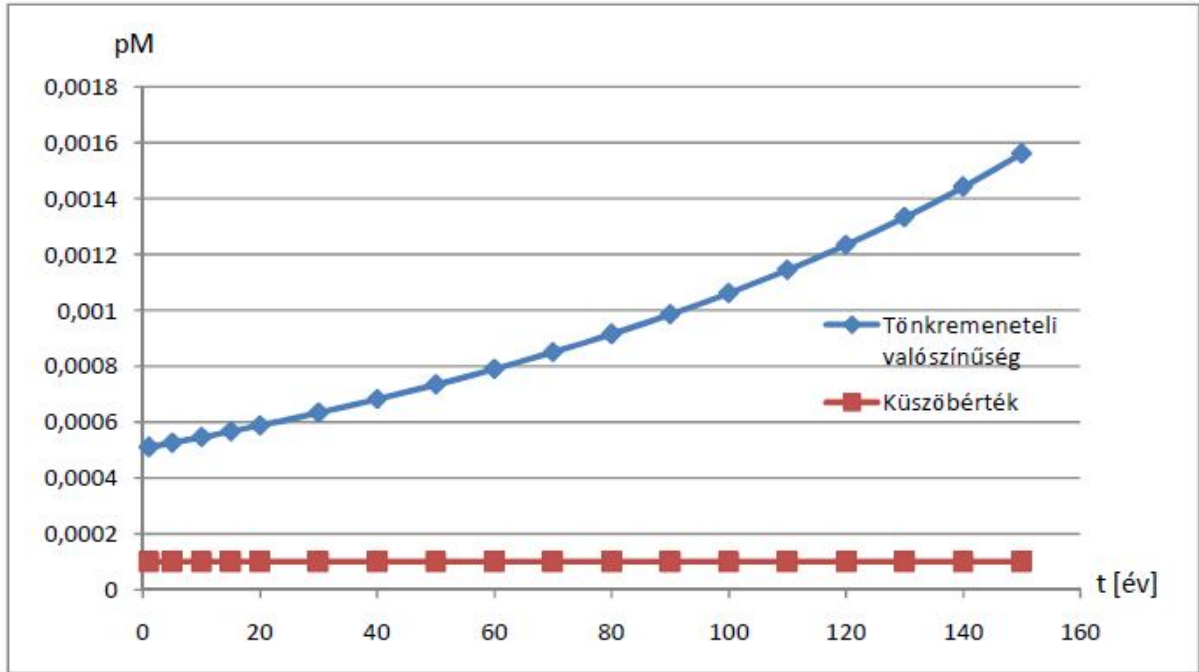
$$s_p(t) = \sqrt{s_g(t)^2 + s_q^2}$$

3.4.6. A három variáns esetén kiszámolt tönkremeneteli valószínűségek bemutatása

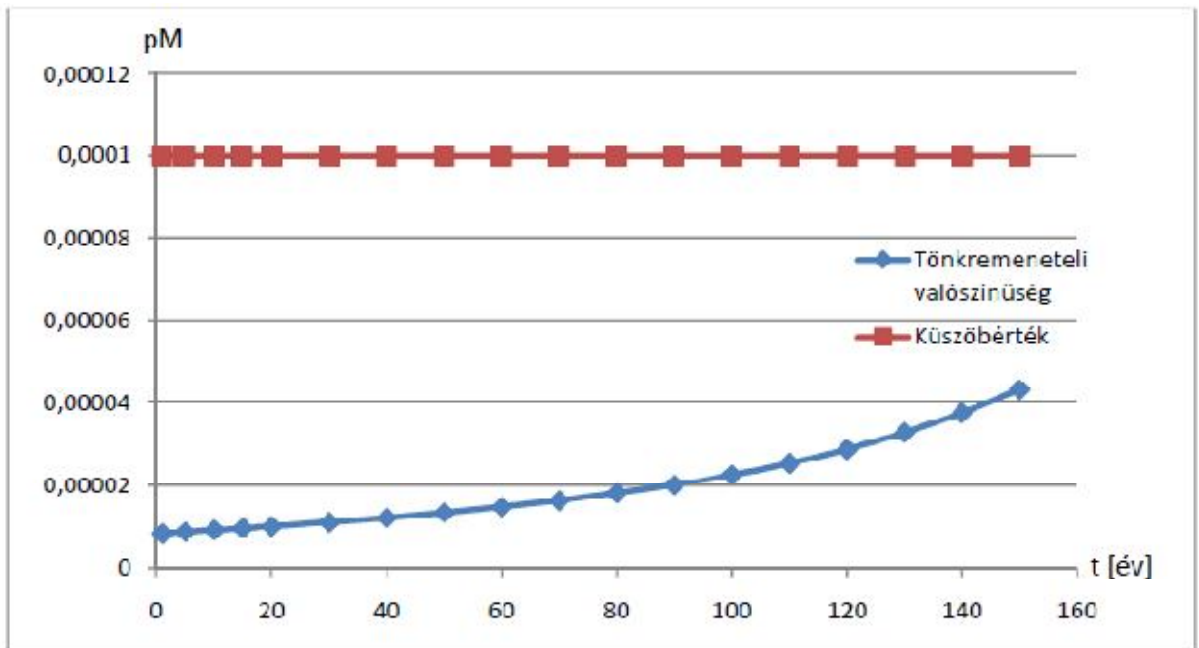
Az előző pontokban ismertetett módon – a számítási mellékletben megtalálható számítások alapján – a 14. táblázatban összefoglaltam az egyes födémek tönkremeneteli valószínűségének alakulását a vizsgálati idő függvényében, a 19., 20., 21. ábrák pedig külön-külön szemléltetik ezeket az értékeket, födém típusonként.

14. táblázat: **Tönkremeneteli valószínűségek**

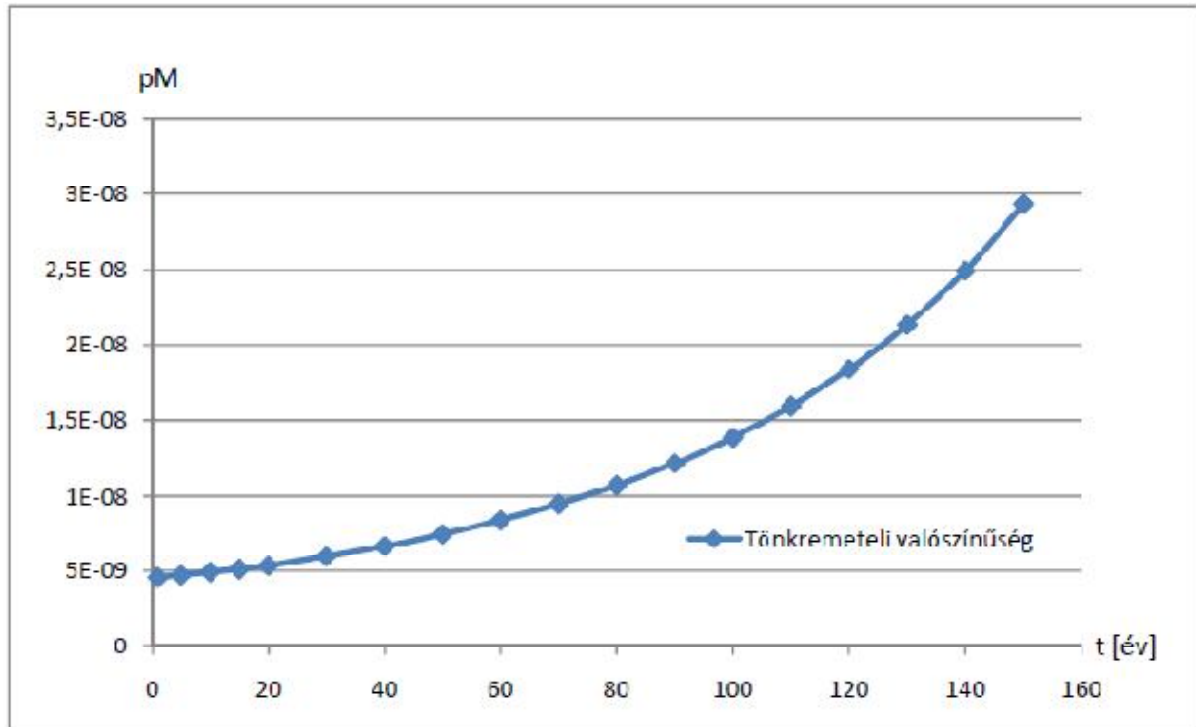
Évek	pM 1. eset	pM 2. eset	pM 3. eset
1	5,100E-04	8,274E-06	4,565E-09
5	5,254E-04	8,675E-06	4,726E-09
10	5,454E-04	9,115E-06	4,916E-09
15	5,662E-04	9,555E-06	5,117E-09
20	5,877E-04	1,001E-05	5,338E-09
30	6,330E-04	1,098E-05	5,965E-09
40	6,816E-04	1,206E-05	6,668E-09
50	7,337E-04	1,327E-05	7,470E-09
60	7,897E-04	1,464E-05	8,392E-09
70	8,499E-04	1,621E-05	9,461E-09
80	9,149E-04	1,801E-05	1,071E-08
90	9,851E-04	2,010E-05	1,217E-08
100	1,061E-03	2,253E-05	1,389E-08
110	1,144E-03	2,538E-05	1,594E-08
120	1,234E-03	2,874E-05	1,839E-08
130	1,333E-03	3,273E-05	2,135E-08
140	1,442E-03	3,751E-05	2,495E-08
150	1,561E-03	4,328E-05	2,937E-08



19. ábra: Tönkremeneteli valószínűség a berepedt, nyomatékra méretezett (1.) esetben



20. ábra: Tönkremeneteli valószínűség a berepedt állapotra, M+N-re méretezve (2. eset)



21. ábra: Tönkremeneteli valószínűség a repedésmentes állapotra (3. eset)

A táblázatból és a 19. ábráról is leolvasható, hogy az 1. esetben tervezett földém – ahol néhány hatás figyelmen kívül lett hagyva – már a kezdeti időkből sem felel meg, ugyanis a pM tönkremeneteli valószínűség értéke jócskán meghaladja az Eurocode által előírt $p_{opt}=10^{-4}$ határértéket. A 2. és 3. változatok, ahol már minden a földémre ható teher figyelembe volt véve tervezésnél, megfelelnek, még 150 év után is, ugyanis a tönkremenetel valószínűsége akkorra sem éri el a küszöbértéket. A 21. ábrán azért nem jelöltem be a küszöbérték helyét, mert az négy nagyságrenddel nagyobb, mint a földémre számolt tönkremeneteli valószínűség, így egy diagramon ábrázolva nem jól látható a pM növekedése az idő előrehaladtával.

Mivel egy mélygarázs tervezési élettartama 50 év, és az azutáni időkből bármit is megjósolni a földém teherbírásával kapcsolatosan meglehetősen becslés jellegű lenne, ezért tekintünk a három változatnál a tönkremeneteli valószínűség értékét pont az 50 éves korban, tehát a „használati idejük lejártakor”:

$$pM_{1-50} = 7.3E-4$$

$$pM_{2-50} = 1.3E-5$$

$$pM_{3-50} = 7.5E-9$$

Az eredményekből jól látszik, hogy mindhárom eset között nagyságrendbeli különbség van, sőt, a repedésmentes állapot (3. eset) esetén ez mintegy négy-öt nagyságrend. Ez azt

jelenti, hogy ennyivel kisebb a födém tönkremeneteli valószínűsége ötven év után, azaz várhatóan ennyivel is lesz hosszabb a szerkezet élettartama, mint a másik két esetben.

Elgondolkodtató tehát a 3.3.4. pontban végzett gazdasági/költség-összehasonlításokra (12. táblázat) tekintve, hogy bizonyos kezdeti többletköltségek befektetése esetén mennyivel nagyobb tartalékkal rendelkező, tartósabb szerkezetet hozhatunk létre. Ennek főként nagy beruházásoknál, monumentális épületek, hidak építésekor lehet nagy jelentősége, ahol a tervezési élettartam nem ötven, hanem száz év. A repedésmentes állapotra történő tervezés valószínűleg a legtöbb esetben még így sem mondható gazdaságosnak, de olyan esetekben, ahol ez az állapot amúgy is megkövetelt – mint például földalatti tárolók, medencék, tartályok esetén -, igen nagy biztonsági tartalékkal rendelkező szerkezet jöhet létre, amely tartós is lesz.

4. Összefoglalás

Dolgozatomban a budapesti Várkert Bazár rekonstrukciója során megépülő mélygarázs egy emeletközi födémjének vizsgálatával foglalkoztam. A födém monolit vasbeton szerkezetű, síklemez kialakítással.

Kutatásaim irányvonalát a manapság egyre inkább fontossá váló tartósságra való törekvés, a használati élettartamra történő tervezés adta, és ezek tekintetében vizsgáltam azt, hogy miként valósítható ez meg ebben a konkrét esetben.

A tanulmány a rövid bevezető után egy szakirodalmi áttekintéssel indul, ahol szakirodalmak alapján áttekintettem a megbízhatósági eljárással történő méretezés elméleti hátterét és gyakorlati alkalmazhatóságát a tervezésben, továbbá a vasbetonszerkezetek tartósságát oly nagymértékben befolyásoló karbonátosodásra, és az általa indukált betonacél korrózióra tértem ki.

Ezek után ismertettem a mélygarázs épületének vége-selemes modellalkotását lépésről lépésre, illetve az igénybevételek meghatározását.

A már meglévő igénybevételek ismeretében három különböző variánst dolgoztam ki a födém méretezése során, ezek az alábbiak:

1. (bepedert) eset: 30 cm födémvastagság, C30/37 betonminőség

- méretezés a födém síkra merőlegesen működő terhekből számított hajlítónyomatékokra
- a vízszintes földnyomás, illetve a zsugorodás hatása nincs figyelembe véve

2. (bepedert) eset: 30 cm födémvastagság, C30/37 betonminőség

- méretezés a födém síkjában, és arra merőlegesen működő terhekből számított hajlítónyomatékok és normálerők együttesére

3. (repedésmentes) eset: 45 cm födémvastagság, C35/45 betonminőség

- a födém a 2. esettel megegyezően terhelt
- a keresztmetszet I. feszültségállapotban (rugalmas), repedésmentesre tervezve

A keresztmetszetek méretezése után meghatároztam a teljes élettartamra (50 évre) vonatkoztatott költségeket, számításba véve a bekerülési és fenntartási költségeket is. Eszerint az 1. esetben körülbelül 31.000 Ft, a 2. esetben körülbelül 53.000 Ft, a 3. esetben pedig 65.000 Ft teljes költséggel számolhatunk négyzetméterenként.

A 3. verzió jelentős méretbeli és költségbeli eltérését az első két esettől az adta, hogy a födémot rugalmasan, repedésmentesre terveztem. Ennek tartóssági okai vannak, ugyanis így a repedések hiányában az acélbetétek korróziója körülbelül húsz év elteltével indul csak meg, míg az első két esetben közvetlenül az építés után.

A dolgozat második felében valószínűségelméleti eljárással, a geometriai és szilárdsági adatokat valószínűségi változóként kezelve mindhárom tartószerkezeti variánsra meghatároztam a tönkremenetel valószínűségét az idő függvényében. Ennek eredményeként kiderült, hogy az 1. esetben tervezett födém nem képes teljesíteni az Eurocode által előírt biztonsági szintet. A 2. és 3. esetekben megfeleltek a födémek, sőt, a repedésmentes födém tönkremeneteli valószínűsége még százötven éves korában is mintegy négy nagyságrenddel a biztonsági küszöbérték alatt marad.

A végső értékelés során a gazdaságossági és tartóssági összehasonlítások egymás mellé állításával mérlegelhetővé tettem, hogy mekkora kivitelezési többletköltség esetén mekkora teherbírási többletet tudunk elérni, illetve mennyivel lesz tartósabb a szerkezet.

Bízom benne, hogy vizsgálataim eredményeit a tisztelt olvasók tanulságosnak és hasznosnak találták, és esetleg fel tudják használni azokat a tervezési gyakorlatban is.

5. Jövőbeli tervek

A tanulmány megírása során meglehetősen sok mindenre sikerült kitérnem, de a vizsgált probléma még bőven rejt magában kutatásra érdemes területeket.

A későbbiekben érdemes lehet a födém szerkezeteket gazdaságilag optimalizálni, például szálerősítés vagy feszítés bevonásával, és megvizsgálni ezekben az esetekben is a tönkremenetel valószínűségének alakulását a tervezett élettartam során.

Amennyiben lehetőségem nyílna ilyen vizsgálatok elvégzésére, szívesen elmélyednék a témában komolyabban is.

6. Irodalomjegyzék

- [1] MSZ EN 1990: *A tartószerkezetek tervezésének alapjai*
- [2] Farkas György, Huszár Zsolt, Kovács Tamás, Szalai Kálmán: *Betonszerkezetek méretezése az Eurocode alapján, Terc Kiadó, Budapest, 2008.*
- [3] Szalai Kálmán: *Vasbetonszerkezetek méretezés-elméletének egyes kérdései, Mélyépítéstudományi Szemle, 1974. évfolyam 7. hó. Budapest.*
- [4] Farkas György, Lovas Antal, Szalai Kálmán: *A tartószerkezeti tervezés alapjai az Eurocode szerint*
- [5] Mistéth E.: *Méretezéselmélet; Akadémiai kiadó, Budapest, 2001.*
- [6] *Model Code for Service Life Design; fib bulletin 34, Sprint-Digital-Druck, Stuttgart, 2006.*
- [7] MSZ EN 1992-1-1:2005: *Betonszerkezetek tervezése*
- [8] Balázs L. György, Borosnyói Adorján: *BMEEOEMMST7 Építőanyagok – MSc.- Oktatási segédlet*
- [9] url: <http://www.peri.hu/files/pdf3/MULTIFLEX-HU.pdf>
- [10] url: http://hun.sika.com/hu/solutions_products/document_download/termek_adatlapokepitipar.html
- [11] url:
http://www.hsz.bme.hu/hsz/oktatas/feltoltesek/BMEEOHSAT16/ma_oktatasi_segedlet.pdf
- [12] Koris Kálmán: *Előregyártott vasbeton tartószerkezeti elemek tartóssági tervezése - A doktori értekezés tézisei, Budapest, 2008.*
- [13] Farkas György, Szalai Kálmán; Kovács Tamás: *A valószínűségi elven történő méretezés történeti előzményei hazánkban, BME Hidak és Szerkezetek Tanszéke Tudományos Közleményei, szerk.: Tassi G.; Hegedűs I.; Kovács T., Budapest, 2004.*

Mellékletek

Axis Épületmodell Igénybevételi ábrák

Microsoft Excel számítási mellékletek

Mathcad számítási mellékletek

Multiflex zsaluzati rendszer műszaki jellemzői

A repedések javításához használt anyagok katalógusa

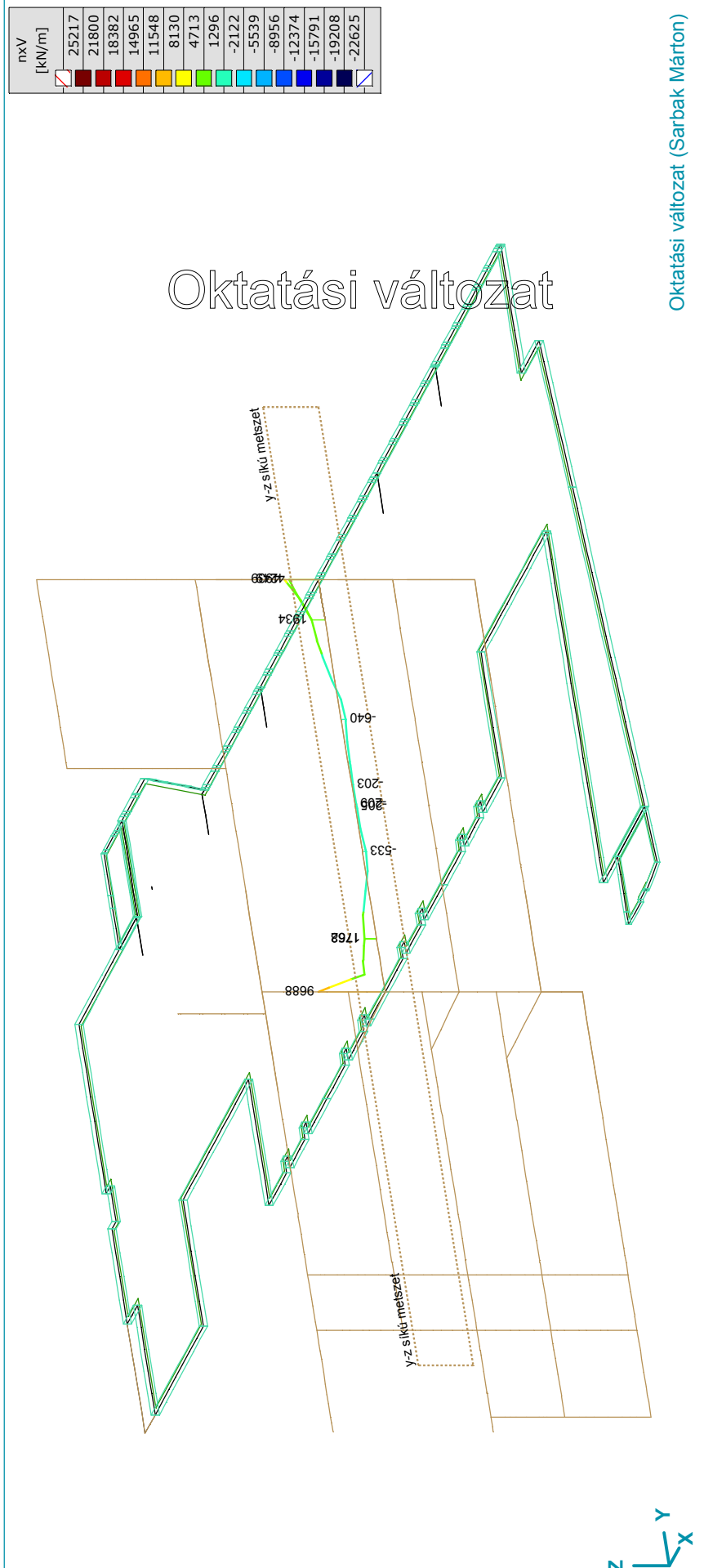
Munka:

Tervező: KÖZTI RT.

Modell: 2d3_szárny_v11r3_1_Marci_otthoni_hőmérsékleti_teherral.axs

2012.10.29.

7. oldal



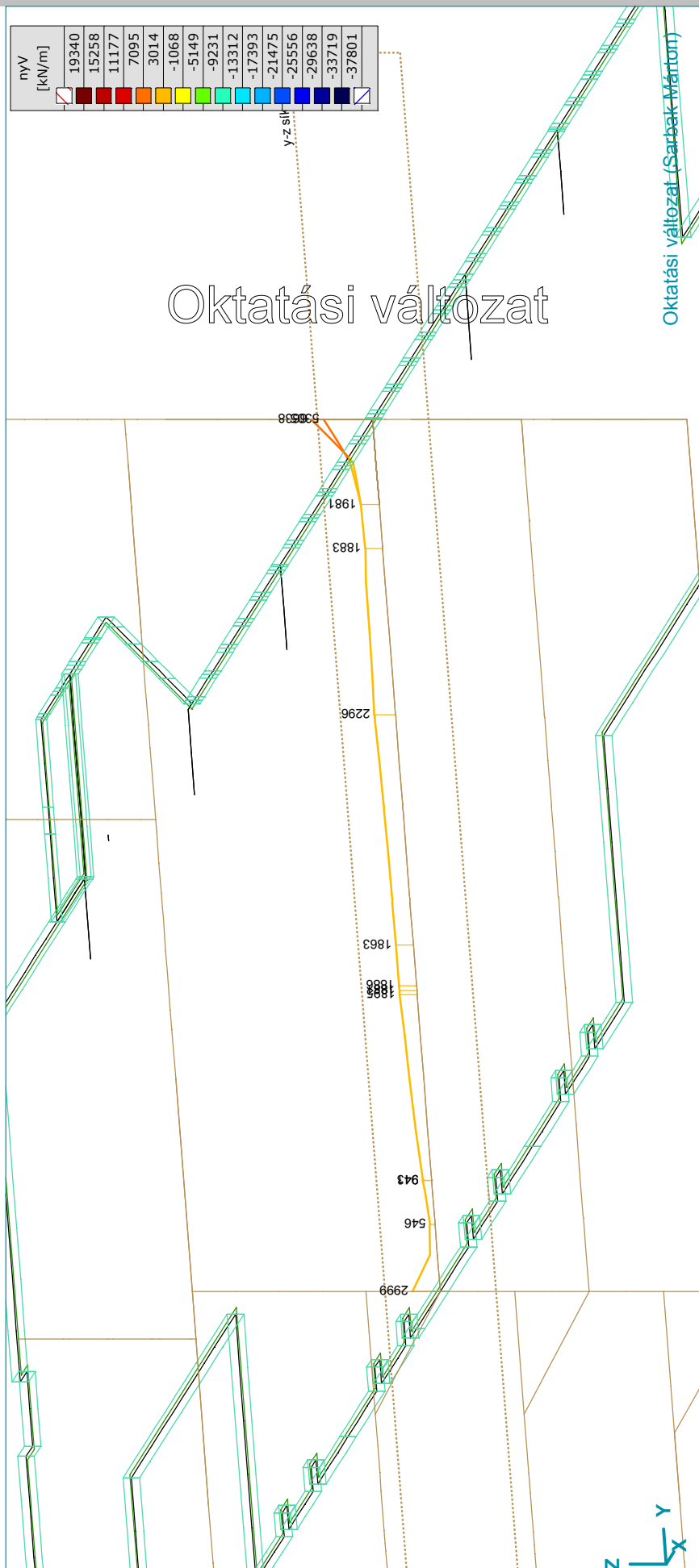
Munka:

Tervező: KÖZTI RT.

Modell: 2d3_szárny_v11r3_1_Marci_otthoni_hőmérsékleti_teherral.axs

2012.10.29.

8. oldal



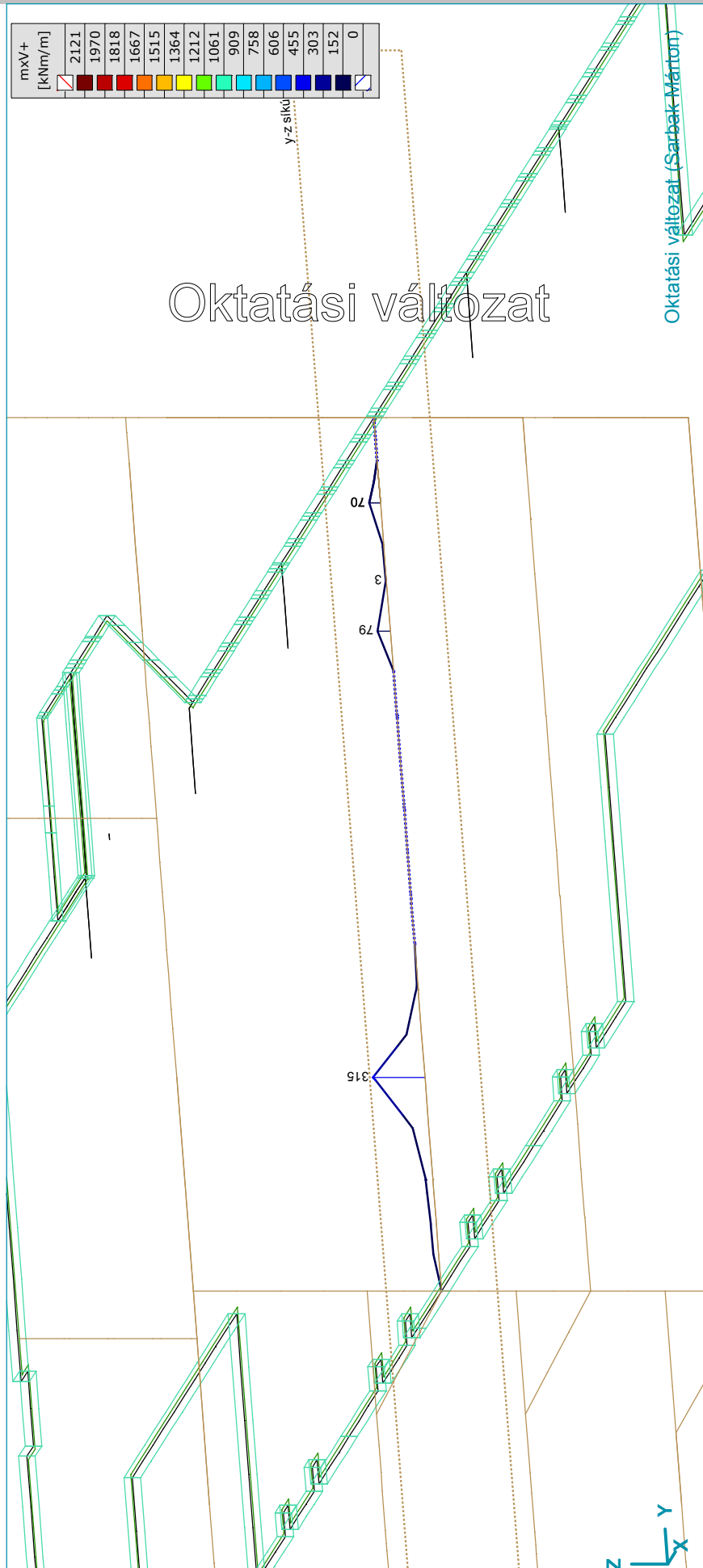
Munka:

Tervező: KÖZTI RT.

Modell: 2d3_szárny_v11r3_1_Marci_otthoni_hőmérsékleti_teherral.axs

2012.10.29.

9. oldal



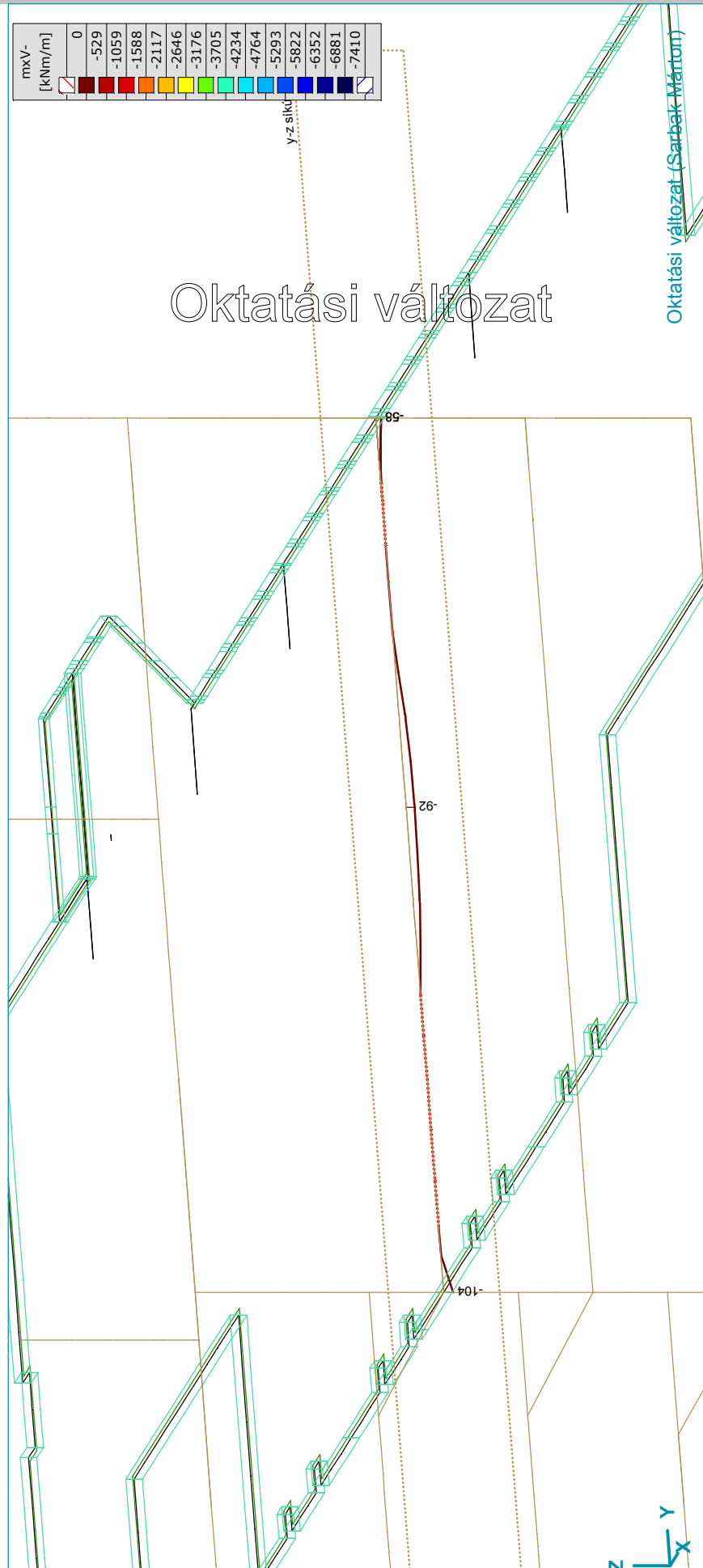
Munka:

Tervező: KÖZTI RT.

Modell: 2d3_szárny_v11r3_1_Marci_otthoni_hőmérsékleti_teherral.axs

2012.10.29.

10. oldal



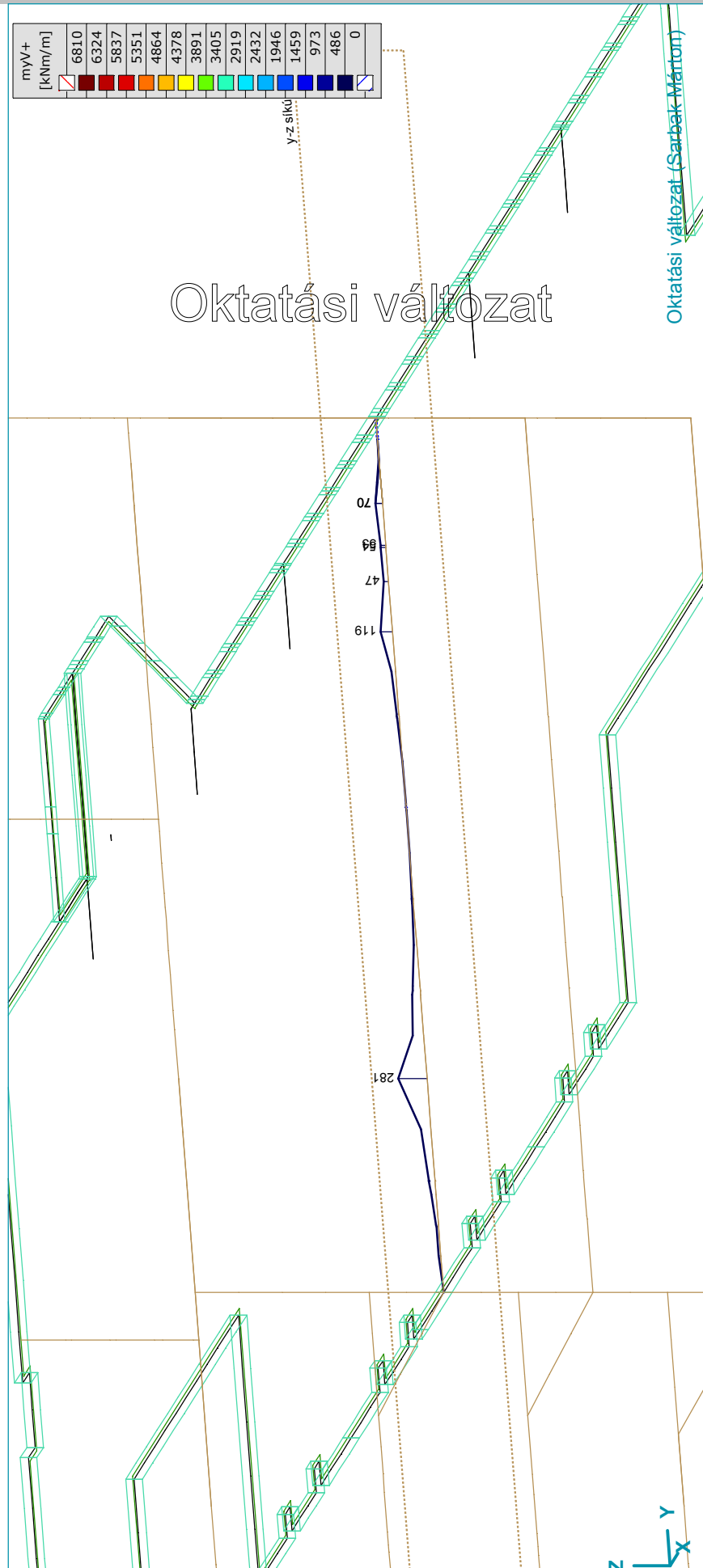
Munka:

Tervező: KÖZTI RT.

Modell: 2d3_szárny_v11r3_1_Marci_otthoni_hőmérsékleti_teherral.axs

2012.10.29.

11. oldal



Igénybevételek a különböző teherkombinációkból

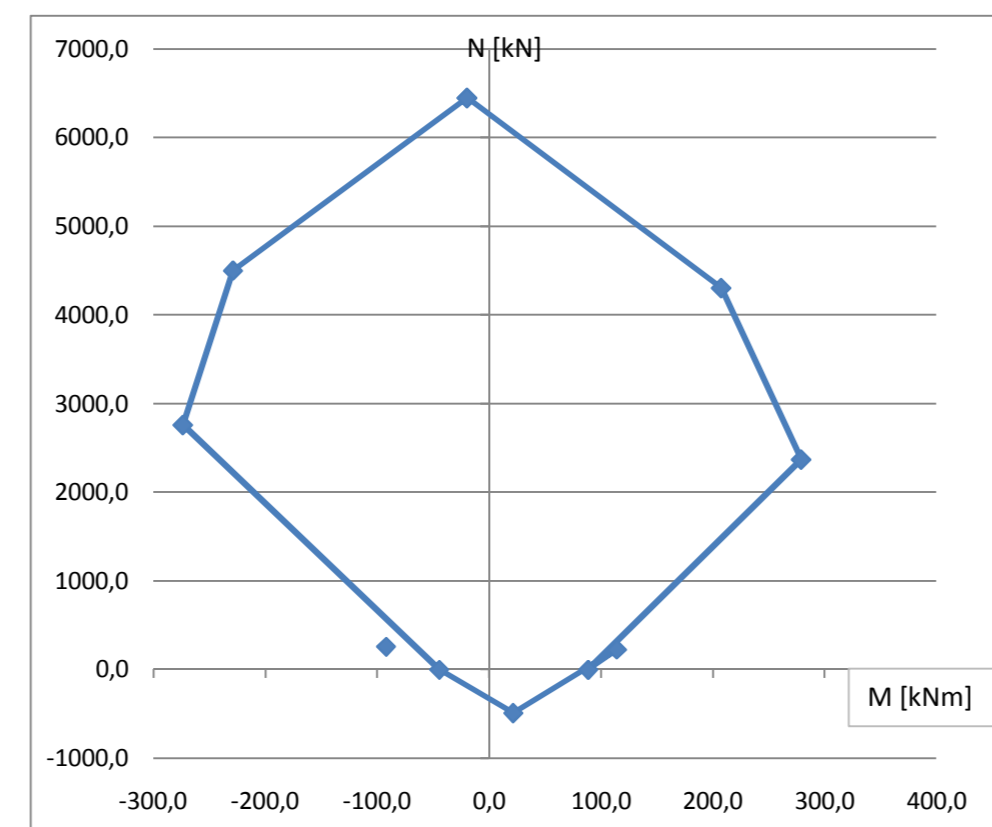
Teherkombináció	Igénybevétel	Támasz- középen	Támaszok felett
ULS zsugorodás nélkül 1.tk	n_{xv} [kN/m]	-627	-565
	n_{yv} [kN/m]	23	151
	m_{xv} [kNm/m]	-83	228
	m_{yv} [kNm/m]	0	223
SLS zsugorodás nélkül 2.tk	n_{xv} [kN/m]	-470	-427
	n_{yv} [kN/m]	15	111
	m_{xv} [kNm/m]	-55	160
	m_{yv} [kNm/m]	0	150
ULS zsugorodással 3.tk	n_{xv} [kN/m]	-260	516
	n_{yv} [kN/m]	2048	1522
	m_{xv} [kNm/m]	-92	239
	m_{yv} [kNm/m]	-1	221
SLS zsugorodással 4.tk	n_{xv} [kN/m]	-198	376
	n_{yv} [kN/m]	1514	1127
	m_{xv} [kNm/m]	-61	161
	m_{yv} [kNm/m]	-2	144

a.) Méretezés EC szerint, csak m_{xv} -re, m_{yv} -re, normálerő és zsigorodás figyelembevétele nélkül, 1. tk alapján

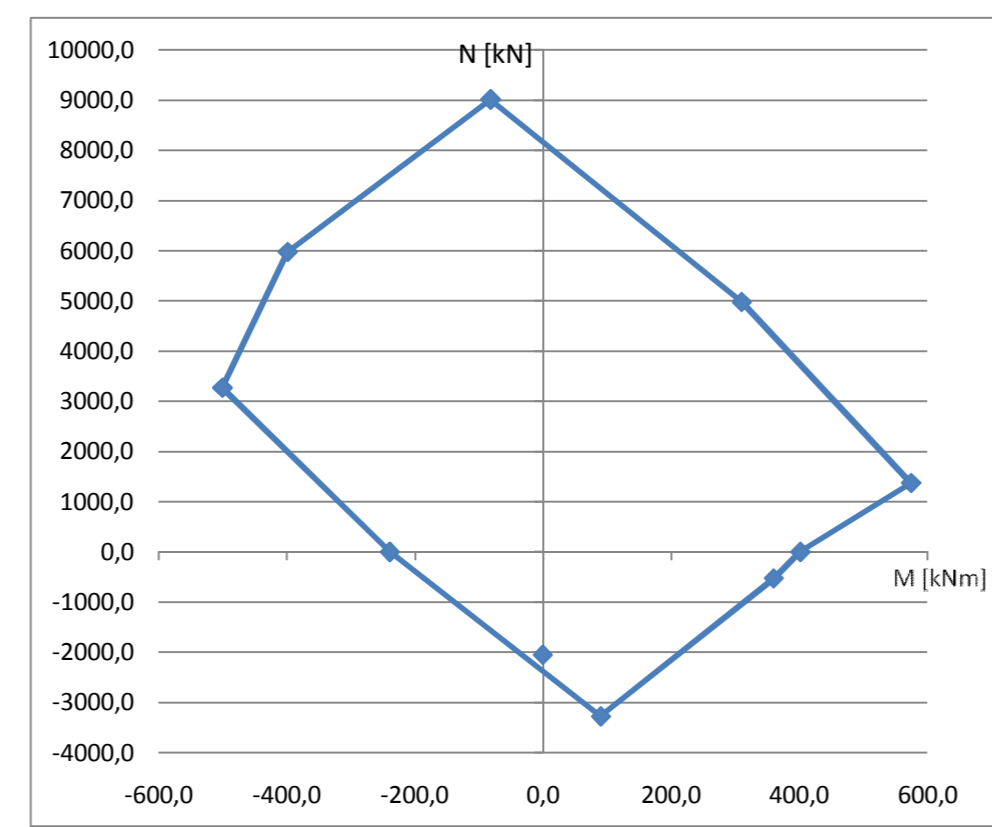
Km.	$M_{ed\ ULS}$ (m_x+m_{xy} , m_y+m_{xy}) [kNm/m]	d_x, d_y [mm]	$x_{c,1}$ [mm]	$x_{c,2}$ [mm]	ξ_c [-]	$A_{s,cal}$ [mm ² /m]	Alk. vasalás			x_c [mm]	M_{rd} [kNm/m]	M_{Ed}/M_{Rd} [%]	
							\emptyset [mm]	t [mm]	$A_{s, alk}$ [mm ² /m]				
Támaszközép x	-83	260	535,5	-15,5	-0,060	-713,0	\emptyset 10 / 100		785,4	17,0	85,7	-96,8	Megfelel!
Támaszközép y	0	240	480,0	0,0	0,000	0,0	\emptyset 10 / 100		785,4	17,0	78,9	0,0	Megfelel!
Támasz felett x	228	260	471,7	48,3	0,186	2223,6	\emptyset 20 / 130		2416,6	52,4	245,2	93,0	Megfelel!
Támasz felett y	223	240	427,9	52,1	0,217	2397,4	\emptyset 20 / 130		2416,6	52,4	224,2	99,5	Megfelel!

Km.	M_{ed} m_{ed1}, m_{ed2} [kNm/m]	N_{ed} n_{ed1}, n_{ed2} [kN/m]	e_{ed} [mm]	Húzott oldali				Nyomott oldali				Teherbírási vonal 1. pontja (max. nyomóerő, kp-os nyomás)		Teherbírási vonal 2. pontja (húzott acébetétek nyúlása zérus)		Teherbírási vonal 3. pontja (maximális nyomatékhoz tartozó pont)		Teherbírási vonal 4. pontja (tisza hajlítás, N=0)						Teherbírási vonal 5. pontja (húzott acébetét eléri a határnyúlásuk értékét)						Teherbírási vonal 6. pontja (mindkét oldali acébetétek húzóttak és foly.)		Teherbírási vonal 7. pontja (2- es jelű acébetétek nyúlása zérus)		Teherbírási vonal 8. pontja (maximális negatív nyomatékhoz tartozó pont)				Teherbírási vonal 9. pontja (tisza hajlítás, N=0)																											
				alk. vasalás		alk. vasalás		N_{ed1}	$M_{ed1, geom}$	x_{c0}	ξ_c	σ'_s	N_{ed2}	$M_{ed2, geom}$	x_{c0}	ξ_c	σ'_s	N_{ed3}	$M_{ed3, geom}$	x_{c0}	ξ_c	σ'_s	$x_{c,mod}$	N_{ed4}	$M_{ed4, geom}$	x_{c0}	ξ_c	σ'_s	N_{ed5}	$M_{ed5, geom}$	N_{ed6}	$M_{ed6, geom}$	x_{c0}	ξ_c	σ'_s	N_{ed7}	$M_{ed7, geom}$	x_{c0}	ξ_c	σ'_s	N_{ed8}	$M_{ed8, geom}$	x_{c1}	x_{c2}	ξ_c	σ'_s	N_{ed9}	$M_{ed9, geom}$																	
				ϕ	t	$A_{s1, alk}$	d_1	ϕ	t	$A_{s2, alk}$	d_2	[kN]	[kNm]	[mm]	[-]	[N/mm ²]	[kN]	[kNm]	[mm]	[-]	[N/mm ²]	[mm]	[mm]	[kN]	[kNm]	[mm]	[-]	[N/mm ²]	[kN]	[kNm]	[kN]	[kNm]	[mm]	[-]	[N/mm ²]	[kN]	[kNm]	[mm]	[-]	[N/mm ²]	[kN]	[kNm]	[mm]	[mm]	[-]	[N/mm ²]	[kN]	[kNm]																	
3 tk ULS zsugorodással	Támaszközép x	-92	-260	353.8	ϕ 10 / 100	785.4	280	ϕ 8 / 150	335.1	40	6448.2	-19.8	208.0	5.20	Folyik	434.78	4305.7	207.4	128.3	24.68	Folyik	434.78	2370.4	279.0	9.8	0.04	Folyik	434.78	0.24	Rugalmas	-434.78	24.4	0	88.7	25.5	0.10	Folyik	434.78	0.64	Rugalmas	-176.88	228.7	114.2	-487.17	21.5	208.0	5.20	Folyik	4501.5	-228.9	128.2	3.20	Folyik	434.78	2759.4	-273.8	-41.4	21.2	0.08	Folyik	0.53	Rugalmas	355.11	0	-44.5
	Támaszközép y	-1	2048	-0.5	ϕ 25 / 100	4908.7	240	ϕ 20 / 120	2618	60	9010.7	-82.5	192.0	3.20	Folyik	434.78	4978.3	309.8	118.4	37.01	Folyik	434.78	1372.8	574.2	49.8	0.21	Folyik	434.78	0.83	Rugalmas	-434.78	103.4	0	401.3	23.6	0.10	Folyik	434.78	0.39	Rugalmas	-434.78	-524.4	359.7	-3272.5	89.6	192.0	3.20	Folyik	5974.2	-399.4	118.3	1.97	Rugalmas	416.02	3270.3	-501.2	-164.9	50.0	0.21	Folyik	0.83	Rugalmas	28.13	0	-239.9
	Támasz felett x	239	516	463.2	ϕ 25 / 120	4090.6	260	ϕ 20 / 150	2094.4	40	8474.0	-87.8	208.0	5.20	Folyik	434.78	5070.6	291.5	128.3	24.68	Folyik	434.78	1688.3	547.8	43.4	0.17	Folyik	434.78	1.08	Rugalmas	183.82	69.7	0	398.5	25.5	0.10	Folyik	434.78	0.64	Rugalmas	-176.88	-897.2	306.5	-2689.1	95.5	208.0	5.20	Folyik	5938.5	-387.0	128.2	3.20	Folyik	434.78	3431.5	-516.0	-132.3	34.6	0.13	Folyik	0.87	Rugalmas	53.27	0	-216.0
	Támasz felett y	221	1522	145.2	ϕ 25 / 100	4908.7	240	ϕ 20 / 120	2618	60	9010.7	-82.5	192.0	3.20	Folyik	434.78	4978.3	309.8	118.4	37.01	Folyik	434.78	1372.8	574.2	49.8	0.21	Folyik	434.78	0.83	Rugalmas	-434.78	103.4	0	401.3	23.6	0.10	Folyik	434.78	0.39	Rugalmas	-434.78	-524.4	359.7	-3272.5	89.6	192.0	3.20	Folyik	5974.2	-399.4	118.3	1.97	Rugalmas	416.02	3270.3	-501.2	-164.9	50.0	0.21	Folyik	0.83	Rugalmas	28.13	0	-239.9

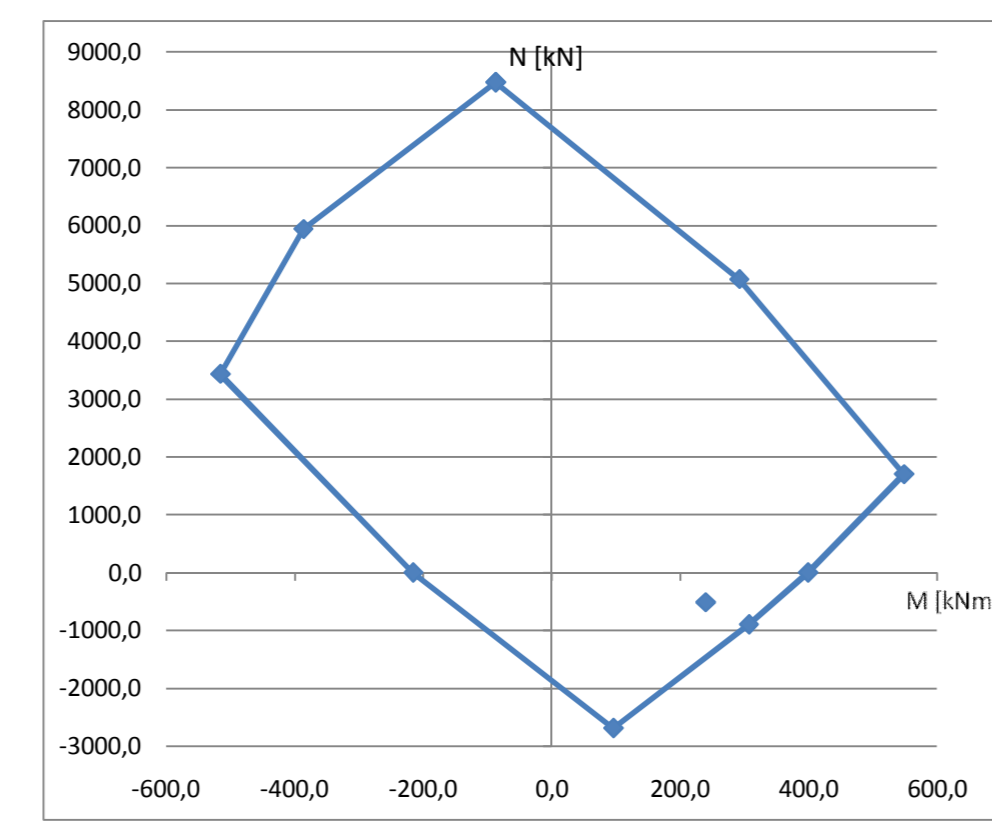
	M	N
1. pont	-19.8	6448.2
2. pont	207.4	4305.7
3. pont	279.0	2370.4
4. pont	88.7	0.0
5. pont	114.2	228.7
6. pont	21.5	-487.2
9. pont	-44.5	0.0
8. pont	-273.8	2759.4
7. pont	-228.9	4501.5
1. pont	-19.8	6448.2
lg bev.	-82.0	260.0



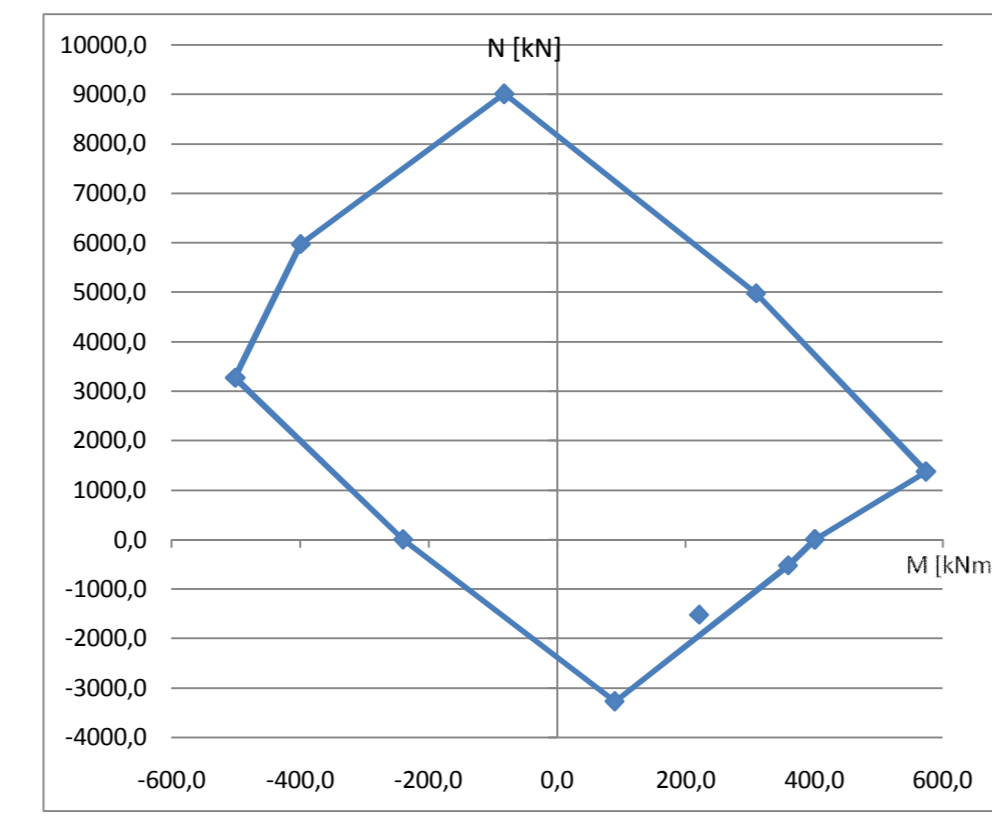
	M	N
1. pont	-82.5	9010.7
2. pont	309.8	4978.3
3. pont	574.2	1372.8
4. pont	401.3	0.0
5. pont	359.7	-524.4
6. pont	89.6	-3272.5
9. pont	-239.9	0.0
8. pont	-501.2	3270.3
7. pont	-399.4	5974.2
1. pont	-82.5	9010.7
lg bev.	-1.0	-2048.0



	M	N
1. pont	-87.8	8474.0
2. pont	291.5	5070.6
3. pont	547.8	1688.3
4. pont	398.5	0.0
5. pont	306.5	-897.2
6. pont	95.5	-2689.1
9. pont	-216.0	0.0
8. pont	-516.0	3431.5
7. pont	-387.0	5938.5
1. pont	-87.8	8474.0
lg bev.	239.0	-516.0



	M	N
1. pont	-82.5	9010.7
2. pont	309.8	4978.3
3. pont	574.2	1372.8
4. pont	401.3	0.0
5. pont	359.7	-524.4
6. pont	89.6	-3272.5
9. pont	-239.9	0.0
8. pont	-501.2	3270.3
7. pont	-399.4	5974.2
1. pont	-82.5	9010.7
lg bev.	221.0	-1522.0



M_{Rdm} 1. eset:

A vetületi egyensúlyi egyenlet, am eyből meghatározható a nyomott betonzóna magassága:

$$A_S \cdot f_{ym} = x \cdot b \cdot f_{cm}$$

$$x := \text{Find}(x) = \blacksquare \cdot \text{mm}$$

Ha a tönkremenetel a beton morzsolódása révén következik be:

A betonban ébredő erők eredője:

$$F_{cc}(x) := \int_0^{0.8x} b \cdot f_{cm} dx$$

A betonacélban ébredő erők eredője:

$$\epsilon_s(x) := \epsilon_{cu} \cdot \frac{d-x}{x}$$

$$F_s(x) := \begin{cases} E_s \cdot \epsilon_s(x) \cdot A_s & \text{if } \epsilon_s(x) \leq \epsilon_{sy} \\ f_{ym} \cdot A_s & \text{if } \epsilon_s(x) > \epsilon_{sy} \end{cases}$$

A vetületi egyensúlyi egyenlet:

$$F_{cc}(x) - F_s(x) = 0$$

A fenti egyenletből meghatározható a semleges tengely helye (x) és a nyomott zóna magassága (x_c):

$$x := \text{Find}(x) = \blacksquare \cdot \text{mm}$$

$$x_c := 0.8 \cdot x = \blacksquare \cdot \text{mm}$$

Betonacél nyúlások ellenőrzése:

$$\epsilon_s(x) = \blacksquare \cdot \%$$

$$\text{az_acélbetétek} = \blacksquare$$

A tönkremenetel a betonacélok szakadása révén következik be:

A betonban ébredő erők eredője:

$$x_{cs}(X) := X - \frac{0.2 \cdot \epsilon_{cu}}{\epsilon_{uk}} \cdot (d - X)$$

$$F_{cs}(X) := \int_0^{x_{cs}(X)} b \cdot f_{cm} dX$$

Az acélbetétekben ébredő erők eredője:

$$F_s(X) := A_s \cdot f_{ym}$$

A vetületi egyensúlyi egyenlet:

$$F_{cs}(X) - F_s(X) = 0$$

A fenti egyenletből meghatározható a semleges tengely (X) és a nyomott zóna magassága (X_c):

$$X := \text{Find}(X) = \bullet \cdot \text{mm}$$

$$X_c := x_{cs}(X) = \bullet \cdot \text{mm}$$

A nyomott beton zóna magassága

$$x_{cd} := \begin{cases} X_c & \text{if } \text{az_acélbetétek} = \text{"elszakadnak"} \\ x_c & \text{otherwise} \end{cases} = \bullet \cdot \text{mm}$$

A nyomott beton zóna súlypontja az alsó szélső száltól:

$$z_c := \frac{x_{cd}}{2} = \bullet \cdot \text{mm}$$

A betonban ébredő erők eredője:

$$F_c := \begin{cases} F_{cs}(X) & \text{if } \text{az_acélbetétek} = \text{"elszakadnak"} \\ F_{cc}(x) & \text{otherwise} \end{cases} = \bullet \cdot \text{kN}$$

Az acélbetétekben ébredő erők eredője:

$$F_s := \begin{cases} A_s \cdot f_{ym} & \text{if } \text{az_acélbetétek} = \text{"elszakadnak"} \\ F_s(x) & \text{otherwise} \end{cases} = \bullet \cdot \text{kN}$$

A nyomatéki teherbírás:

$$M_{Rdm} := |F_c \cdot z_c - F_s \cdot d| = \bullet \cdot \text{kNm}$$

M_{Rdm} 2. eset:

Feltételezett tönkremenetel:

- mivel húzóerő is hat, az As1 jelű (felső) acélbetétek biztosan húzóttak lesznek
- a beton húzóerőt felvenni nem képes, így **a vetületi egyensúlyi egyenletből xc-t nem lehet meghatározni**
- ha az As1 jelű acélbetétekben a szakadási nyúlás értéke lép fel, akkor az As2 jelű acélbetétek lehetnek nyomottak, amennyiben xc nagyobb lesz, mint d2, illetve húzóttak, ellenkező esetben

A húzótt acélbetétek eléri határnyúlásuk értékét:

/az ϵ ábrából xc meghatározható aránypár segítségével, vb 2 jegyzet alapján/

$$\frac{1.25x_c}{\epsilon_{cu}} = \frac{d_1 - 1.25x_c}{\epsilon_{uk}}$$

$$x_c := \text{Find}(x_c) = \bullet \cdot \text{mm}$$

Az acélbetétek állapotának ellenőrzése:

$$\xi_c := \frac{x_c}{d_1} = \bullet$$

az_As1_jelű_acélbetétek = \bullet

$$F_{s.1}(x_c) := \begin{cases} \left(\frac{560 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{\xi_c} - 700 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \right) \cdot A_{s.1} & \text{if } \xi_c > \xi_{c0} \\ f_{ym} \cdot A_{s.1} & \text{if } \xi_c < \xi_{c0} \end{cases}$$

$$F_{s.1}(x_c) = \bullet \cdot \text{kN}$$

$$\xi'_c := \frac{x_c}{d_2} = \bullet$$

az_As2_jelű_acélbetétek = \bullet

Az As.2-ben ébredő erők eredője:

$$F_{s.2} := A_{s.2} \cdot f_{ym}$$

A keresztmetszet húzási ellenállása:

$$N_{Rdm} := F_{s.1}(x_c) + F_{s.2} = \bullet \cdot \text{kN}$$

A keresztmetszet nyomatéki teherbírása:

A beton teherbírását itt elhanyagolom, mert x_c értéke olyan kicsinyi, hogy ezzel nem sokat tévedek, és a közelítés a biztonság javára szolgál.

A húzott és nyomott oldali acélbetétek mennyiségéből meghatározható a keresztmetszet súlyponti tengelye:

$$A_{s,1} \cdot (x - h + d_1) = A_{s,2} \cdot (h - x - d_2)$$

$$x := \text{Find}(x) = \mathbf{1} \cdot \text{mm}$$

$$M_{Rdm} := A_{s,1} \cdot f_{ym} \cdot [x - (h - d_1)] + A_{s,2} \cdot f_{ym} \cdot (h - d_2 - x) = \mathbf{1} \cdot \text{kNm}$$

M_{Rdm} 3. - Repedésmentes (rugalmas) keresztmetszet tervezése:

A vetületi egyensúlyi egyenlet, am eyből meghatározható a nyomott betonzóna magassága:

$$A_{s,1} \cdot f_{ym} = x \cdot b \cdot f_{cm} + A_{s,2} \cdot f_{ym}$$

$$x := \text{Find}(x) = \bullet \cdot \text{mm}$$

Ha a tönkremenetel a beton morzsolódása révén következik be:

A betonban ébredő erők eredője:

$$F_{cc}(x) := \int_0^{0.8x} b \cdot f_{cm} dx$$

A betonacélokból ébredő erők eredője:

$$\epsilon_{s,1}(x) := \epsilon_{cu} \cdot \frac{d_1 - x}{x} \quad \epsilon_{s,2}(x) := \epsilon_{cu} \cdot \frac{x - d_2}{x}$$

$$F_{s,1}(x) := \begin{cases} E_s \cdot \epsilon_{s,1}(x) \cdot A_{s,1} & \text{if } \epsilon_{s,1}(x) \leq \epsilon_{sy} \\ f_{ym} \cdot A_{s,1} & \text{if } \epsilon_{s,1}(x) > \epsilon_{sy} \end{cases}$$

$$F_{s,2}(x) := \begin{cases} E_s \cdot \epsilon_{s,2}(x) \cdot A_{s,2} & \text{if } \epsilon_{s,2}(x) \leq \epsilon_{sy} \\ f_{ym} \cdot A_{s,2} & \text{if } \epsilon_{s,2}(x) > \epsilon_{sy} \end{cases}$$

A vetületi egyensúlyi egyenlet:

$$F_{cc}(x) + F_{s,2}(x) - F_{s,1}(x) = 0$$

A fenti egyenletből meghatározható a semleges tengely helye (x) és a nyomott zóna magassága (x_c):

$$x := \text{Find}(x) = \bullet \cdot \text{mm}$$

$$x_c := 0.8 \cdot x = \bullet \cdot \text{mm}$$

Betonacél nyúlások ellenőrzése:

$$\epsilon_{s,1}(x) = \bullet \cdot \%$$

$$a_{\text{húzott_acélbetétek}} = \bullet$$

$$\epsilon_{s,2}(x) = \bullet \cdot \%$$

$$a_{\text{nyomott_acélbetétek}} = \bullet$$

A tönkremenetel a betonacélok szakadása révén következik be:

A betonban ébredő erők eredője:

$$x_{cs}(X) := X - \frac{0.2 \cdot \epsilon_{cu}}{\epsilon_{uk}} \cdot (d_1 - X)$$

$$F_{cs}(X) := \int_0^{x_{cs}(X)} b \cdot f_{cm} dX$$

A húzott acélbetétekben ébredő erők eredője:

$$F_{s,1}(X) := A_{s,1} \cdot f_{ym}$$

A nyomott acélbetétekben ébredő erők eredője:

$$F_{s,2}(X) := A_{s,2} \cdot f_{ym} \cdot \frac{X - d_2}{d_1 - X}$$

A vetületi egyensúlyi egyenlet:

$$F_{cs}(X) + F_{s,2}(X) - F_{s,1}(X) = 0$$

A fenti egyenletből meghatározható a semleges tengely (X) és a nyomott zóna magassága (X_c):

$$X := \text{Find}(X) = \bullet \cdot \text{mm}$$

$$X_c := x_{cs}(X) = \bullet \cdot \text{mm}$$

A nyomott beton zóna magassága

$$x_{cd} := \begin{cases} X_c & \text{if } a_{\text{húzott_acélbetétek}} = \text{"elszakadnak"} \\ x_c & \text{otherwise} \end{cases} = \bullet \cdot \text{mm}$$

A nyomott beton zóna súlypontja az alsó szélső száltól:

$$z_c := \frac{x_{cd}}{2} = \bullet \cdot \text{mm}$$

A betonban ébredő erők eredője:

$$F_c := \begin{cases} F_{cs}(X) & \text{if } a_{\text{húzott_acélbetétek}} = \text{"elszakadnak"} \\ F_{cc}(x) & \text{otherwise} \end{cases} = \bullet \cdot \text{kN}$$

Az acélbetétekben ébredő erők eredője:

$$F_{s,1} := \begin{cases} A_{s,1} \cdot f_{ym} & \text{if } \mathbf{a_húzott_acélbetétek} = \text{"elszakadnak"} \\ F_{s,1}(x) & \text{otherwise} \end{cases} = \bullet \cdot \text{kN}$$

$$F_{s,2} := \begin{cases} A_{s,2} \cdot f_{ym} \cdot \frac{X - d_2}{d_1 - X} & \text{if } \mathbf{a_húzott_acélbetétek} = \text{"elszakadnak"} \\ F_{s,2}(x) & \text{otherwise} \end{cases} = \bullet \cdot \text{kN}$$

A nyomatékai teherbíráás:

$$M_{Rdm} := \left| F_c \cdot z_c + F_{s,2} \cdot d_2 - F_{s,1} \cdot d_1 \right| = \bullet \cdot \text{kNm}$$

A vizsgált födéplemez tönkremeneteli valószínűsége az 1. eset szerint

1. Adatok kezdeti értéke

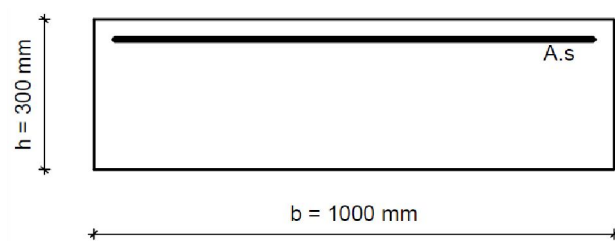
Geometria

$$b = 1000\text{mm}$$

$$h = 300\text{mm}$$

$$s_b = b \cdot 7\% = 70\text{mm}$$

$$s_h = h \cdot 7\% = 21\text{mm}$$



Vasalás: a húzott oldalon: $\phi 20/130$

$$\phi = 20\text{mm}$$

$$f = 130\text{mm}$$

$$A_s = \frac{1000\text{mm} \cdot (\phi^2 \cdot \pi)}{f \cdot 4} = 2.417 \times 10^3 \cdot \text{mm}^2$$

$$d = h - \frac{\phi}{2} - 30\text{mm} = 260\text{mm}$$

$$s_d = d \cdot 7\% = 18.2\text{mm}$$

Anyagjellemzők: beton: C30/37, betonacél: B500B

$$f_{ck} = 30 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$f_{cm} = 38 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$f_{ctm} = 2.9 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$E_{cm} = 33000 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\epsilon_{cu} = 3.5\%$$

$$\epsilon_{cl} = 2.2\%$$

$$s_{fcm} = f_{cm} \cdot 18\% = 6.84 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$s_{fctm} = f_{ctm} \cdot 18\% = 0.522 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$s_{Ecm} = E_{cm} \cdot 4\% = 1.32 \times 10^3 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$f_{yk} = 500 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$f_{ym} = f_{yk}$$

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{1.15} = 434.783 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$s_{fy} = f_{ym} \cdot 5.5\% = 27.5 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\epsilon_{uk} = 18\%$$

$$E_s = 200000 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\epsilon_{sy} = \frac{f_{yd}}{E_s} = 2.174\%$$

Időbeli változás

Relatív páratartalom:	RH = 60%
Vizsgálati időtartam:	évek = 150
A vizsgálat időpontja:	t = évek · 365.25
A lemez leterhelése:	t ₀ = 21 nap

A beton előállításához felhasznált cement típusa: **CEM I 42.5 N**

Zsugorodás számítása:

A cement fajtájától függő tényezők:
/normál portlandcement esetén/

$$\alpha_{ds1} = 4$$

$$\alpha_{ds2} = 0.12$$

A páratartalmat figyelembe vevő tényező:

$$\beta_{RH} = 1.55 \cdot \left[1 - \left(\frac{RH}{100\%} \right)^3 \right] = 1.215$$

A száradási zsugorodás kezdeti értéke:

$$\epsilon_{cd0} = 0.85 \left[220 + 110 \cdot \alpha_{ds1} \right] \cdot e^{\left(-\alpha_{ds2} \cdot \frac{f_{cm}}{10 \frac{N}{mm^2}} \right)} \cdot \beta_{RH} \cdot 10^{-6} = 0.432 \cdot \%$$

A beton keresztmetszeti területe:

$$A_{ca} = h \cdot b = 3 \times 10^5 \cdot mm^2$$

A km. környezettel érintkező kerülete:

$$u = 2 \cdot b = 2 \times 10^3 \cdot mm$$

Az elem névleges mérete:

$$h_0 = 2 \cdot \frac{A_{ca}}{u} = 300 \cdot mm$$

A k_h tényező lineáris interpolációval:

$$k_h = 0.925$$

A száradási zsugorodás végértéke:

$$\epsilon_{cd} = k_h \cdot \epsilon_{cd0} = 0.4 \cdot \%$$

Az autogén zsugorodás végértéke:

$$\epsilon_{ca} = 2.5 \cdot (f_{ck} - 10) \cdot 10^{-6} = 0.05 \cdot \%$$

A zsugorodás végértéke:

$$\epsilon_{cs} = \epsilon_{cd} + \epsilon_{ca} = 0.45 \cdot \%$$

Kúszási tényező számítása:

A tartó terhelésének kezdete napokban: $t_{0T} = 1$

A tervezett élettartam napokban: $t = 5.479 \times 10^4$

A cement típusától függő kitevő: $\alpha_c = 0$ (normál cement esetén)

A cement típusának a beton kúszási tényezőjére gyakorolt hatását a terhelési kor kezdetének módosításával vehetjük figyelembe:

$$t_0 = t_{0T} \cdot \left(\frac{9}{2 + t_{0T}^{1.2}} + 1 \right)^{\alpha_c} = 1$$

A betonszilárdság hatását figyelembe vevő tényezők értékei:

$$\alpha_1 = \begin{cases} \left(\frac{35}{f_{cm}} \right)^{0.7} & \text{if } f_{cm} > 35 \\ 1 & \text{otherwise} \end{cases} = 0.944$$
$$\alpha_2 = \begin{cases} \left(\frac{35}{f_{cm}} \right)^{0.2} & \text{if } f_{cm} > 35 \\ 1 & \text{otherwise} \end{cases} = 0.984$$
$$\alpha_3 = \begin{cases} \left(\frac{35}{f_{cm}} \right)^{0.5} & \text{if } f_{cm} > 35 \\ 1 & \text{otherwise} \end{cases} = 0.96$$

A beton keresztmetszeti területe: $A_c = h \cdot b = 3 \times 10^5 \cdot \text{mm}^2$

A keresztmetszet környezettel érintkező kerülete: $u = 2 \cdot b = 2 \times 10^3 \cdot \text{mm}$

Az elem névleges mérete: $h_0 = 2 \cdot \frac{A_c}{u} = 300 \cdot \text{mm}$

A környezet relatív páratartalma: $RH = 60\%$

A relatív páratartalomtól és az elem névleges méretétől függő tényező: $\beta_H = \min \left[1.5 \cdot \left[1 + (1.2 \cdot RH)^{18} \right], h_0 + 250 \cdot \alpha_3, 1500 \right]$

$$\beta_H = 1.4 \times 10^3$$

A kúszás időbeli lefutását leíró tényező:

$$\beta_c = \left(\frac{t - t_0}{\beta_H + t - t_0} \right)^{0.3} = 0.992$$

A relatív páratartalom hatását figyelembe vevő tényező:

$$\varphi_{RH} = \left(1 + \frac{1 - \frac{RH}{100\%}}{0.1 \cdot \sqrt[3]{h_0}} \cdot \alpha_1 \right) \cdot \alpha_2 = 1.539$$

A betonszilárdság hatását figyelembe vevő tényező:

$$\beta_{f_{cm}} = \frac{16.8}{\sqrt{f_{cm}}} = 2.725$$

A beton korának hatásait figyelembe vevő tényező:

$$\beta_{t_0} = \frac{1}{0.1 + t_0^{0.2}} = 0.909$$

A névleges kúszási tényező:

$$\varphi_0 = \varphi_{RH} \cdot \beta_{f_{cm}} \cdot \beta_{t_0} = 3.81$$

A kúszási tényező:

$$\varphi = \varphi_0 \cdot \beta_c = 3.78$$

Beton rugalmassági modulus új értéke "t" idő múlva:

$$E_{cm} = \frac{1.05 E_{cm}}{1 + \varphi} = 7245 \cdot \frac{N}{mm^2}$$

Nyúlás határok újradefiniálása:

$$\varepsilon_{c1} = \frac{f_{cm}}{E_{cm}} = 5.245 \cdot \text{‰}$$

$$\varepsilon_{ct} = \frac{f_{ctm}}{E_{cm}} = 0.4 \cdot \text{‰}$$

$$\varepsilon_{sy} = \frac{f_{ym}}{E_s} = 2.5 \cdot \text{‰}$$

Beton szilárdság változása:

$$f_{cm}(t) = \beta_{cc}(t) \cdot f_{cm}$$

Ahol $\beta_{cc}(t)$ a szilárdságcsökkenést leíró függvény:
$$\beta_{cc}(t) = \exp \left[s \left[1 - \left(\frac{28}{t} \right)^{\frac{1}{2}} \right] \right]$$

és ahol:

$$s = 0.25 \quad / \text{a cement fajtájától függő tényező} /$$

t a vizsgált beton kora napokban

Legyen t_0 az az időtartam, ami alatt a beton szilárdsága zérusra csökken. ($t_0=500$ év)

Ekkor a $\beta_{cc}(t)$ függvényt Taylor-sorba fejtéssel az alábbi formában írhatjuk:

$$\beta_{cc}(t) = 1 - \frac{1}{3} \cdot \left(\frac{t}{500 \cdot 365.25} \right)^2 - \frac{1}{3} \cdot \left(\frac{t}{500 \cdot 365.25} \right)^3 - \frac{1}{3} \cdot \left(\frac{t}{500 \cdot 365.25} \right)^4$$

Beton nyomószilárdság változása:

$$f_{cm} = f_{cm} \cdot \left[1 - \frac{1}{3} \cdot \left(\frac{t}{500 \cdot 365.25} \right)^2 - \frac{1}{3} \cdot \left(\frac{t}{500 \cdot 365.25} \right)^3 - \frac{1}{3} \cdot \left(\frac{t}{500 \cdot 365.25} \right)^4 \right] = 36.42 \cdot \frac{N}{mm^2}$$

$$s_{fcm} = \sqrt{s_{fcm}^2 \cdot \left[1 + 1.5 \cdot \left(\frac{t}{500 \cdot 365.25} \right) \right]} = 8.236 \cdot \frac{N}{mm^2}$$

Beton rugalmassági modulus változása:

$$E_{cm} = E_{cm} \cdot \left[1 - \frac{1}{3} \cdot \left(\frac{t}{500 \cdot 365.25} \right)^2 - \frac{1}{3} \cdot \left(\frac{t}{500 \cdot 365.25} \right)^3 - \frac{1}{3} \cdot \left(\frac{t}{500 \cdot 365.25} \right)^4 \right] = 6.94 \times 10^3 \cdot \frac{N}{mm^2}$$

$$s_{Ecm} = \sqrt{s_{Ecm}^2 \cdot \left[1 + 1.5 \cdot \left(\frac{t}{500 \cdot 365.25} \right) \right]} = 1.589 \times 10^3 \cdot \frac{N}{mm^2}$$

Betonacél szilárdság változása:

$$f_{ym} = f_{ym} \cdot \left[1 - \frac{1}{3} \cdot \left(\frac{t}{500 \cdot 365.25} \right)^2 - \frac{1}{3} \cdot \left(\frac{t}{500 \cdot 365.25} \right)^3 - \frac{1}{3} \cdot \left(\frac{t}{500 \cdot 365.25} \right)^4 \right] = 479.1 \cdot \frac{N}{mm^2}$$

$$s_{fy} = \sqrt{s_{fy}^2 \cdot \left[1 + 1.4 \cdot \left(\frac{t}{500 \cdot 365.25} \right)^{1.2} \right]} = 31.716 \cdot \frac{N}{mm^2}$$

Geometriai méretek változása:

$$s_h = \sqrt{s_h^2 \cdot \left(1 + 1.2 \cdot \frac{t}{1000 \cdot 365.25} \right)} = 22.812 \cdot mm$$

$$s_b = \sqrt{s_b^2 \cdot \left(1 + 1.2 \cdot \frac{t}{1000 \cdot 365.25} \right)} = 76.039 \cdot mm$$

$$s_d = \sqrt{s_d^2 \cdot \left(1 + 1.2 \cdot \frac{t}{1000 \cdot 365.25} \right)} = 19.77 \cdot mm$$

Betonacél korrózió:

Az alkalmazott betonfedés: $c_{\text{nom}} = 30\text{mm}$

A betonacél rozsdásodásának kezdete:

$$t_T = 1 \cdot 365.25$$

A rozsdásodás időtartama:

$$T_T = t - t_T = 54422 \text{ nap}$$

Korróziósűrűség:

víz-cement tényező: $vc = 0.45$

$$i_{\text{corr}}(t) = 37.8 \cdot \frac{(1 - vc)^{-1.64}}{c_{\text{nom}} \cdot \frac{1}{\text{mm}}} \cdot 0.85 \cdot t^{-0.29}$$

$$i_{\text{corr}}(t) = 0.121$$

Betonacél átmérő változása:

$$\phi_{\text{corr}} = \left(\frac{\phi}{\text{mm}} - 0.0232 \cdot \int_0^{T_T} i_{\text{corr}}(t) dt \right) \cdot \text{mm} = 19.583 \cdot \text{mm}$$

Vasalás km.-i területe:

$$A_{s,\text{corr}} = \frac{1000\text{mm} \cdot (\phi_{\text{corr}}^2 \cdot \pi)}{f \cdot 4} = 2.317 \times 10^3 \cdot \text{mm}^2$$

Nyomatéki teherbírás:

$$\alpha = 1.001$$

☞ Reference:C:\Users\Marci\Desktop\Konzultáció\Mrd 1.jav.xmcd(R)

$$M_{Rd,m} = M_{Rdm} = 282.649 \cdot \text{kNm}$$

Nyomatéki teherbírás szórása:

$$b = b \cdot \alpha = 1.001 \times 10^3 \cdot \text{mm}$$

☞ Reference:C:\Users\Marci\Desktop\Konzultáció\Mrd 1.jav.xmcd(R)

$$M_{Rdm} = 282.668 \cdot \text{kNm}$$

$$b = \frac{b}{\alpha} = 1 \text{ m}$$

$$\Delta_{Mrb} = \left| \frac{M_{Rdm} - M_{Rd.m}}{b - b \cdot \alpha} \right| = 18.391 \cdot \text{kN}$$

$$d = d \cdot \alpha = 260.26 \cdot \text{mm}$$

☞ Reference: C:\Users\Marci\Desktop\Konzultáció\Mrd 1.jav.xmcd(R)

$$M_{Rdm} = 282.95 \cdot \text{kNm} \quad d = \frac{d}{\alpha} = 260 \cdot \text{mm}$$

$$\Delta_{Mrd} = \left| \frac{M_{Rdm} - M_{Rd.m}}{d - d \cdot \alpha} \right| = 1.158 \times 10^3 \cdot \text{kN}$$

$$f_{cm} = f_{cm} \cdot \alpha = 36.452 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

☞ Reference: C:\Users\Marci\Desktop\Konzultáció\Mrd 1.jav.xmcd(R)

$$M_{Rdm} = 282.668 \cdot \text{kNm} \quad f_{ctm} = \frac{f_{ctm}}{\alpha} = 2.897102897 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\Delta_{Mrfcm} = \left| \frac{M_{Rdm} - M_{Rd.m}}{f_{ctm} - f_{ctm} \cdot \alpha} \right| = 6.348 \text{ L}$$

$$f_{ym} = f_{ym} \cdot \alpha = 479.629 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

☞ Reference: C:\Users\Marci\Desktop\Konzultáció\Mrd 1.jav.xmcd(R)

$$M_{Rdm} = 282.932 \cdot \text{kNm} \quad f_{ym} = \frac{f_{ym}}{\alpha} = 479.15 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\Delta_{Mrfy} = \left| \frac{M_{Rdm} - M_{Rd.m}}{f_{ym} - f_{ym} \cdot \alpha} \right| = 0.59 \text{ L}$$

$$s_{MRd} = \sqrt{(\Delta_{Mrb} \cdot s_b)^2 + (\Delta_{Mrd} \cdot s_d)^2 + (\Delta_{Mrfy} \cdot s_{fy})^2 + (\Delta_{Mrfcm} \cdot s_{fcm})^2} = 60.082 \cdot \text{kNm}$$

$$\nu_{MRd} = \frac{s_{MRd}}{M_{Rd.m}} = 21.257 \cdot \%$$

Terhek adatainak időbeli változása: 0.13 kN/m² burkolat (+30 cm födémlemez vastagság)
és 3 kN/m² hasznos teher

Önsúly

$$\rho = 25 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} \quad \nu_\rho = 4\% \quad s_\rho = \nu_\rho \cdot \rho = 1 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$$

$$G_k = 0.13 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} + 0.30 \text{m} \cdot \rho = 7.63 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$G_m = G_k - G_k \cdot \nu_\rho \cdot 1.645 = 7.128 \frac{1}{\text{m}} \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Hasznos teher

$$q_k = 3 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \quad \nu_q = 5\%$$

$$q_m = q_k - q_k \cdot \nu_q \cdot 1.645 = 2.753 \frac{1}{\text{m}} \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Önsúly 1m széles sávra:

$$g_k = G_k \cdot 1\text{m} = 7.63 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$g_m = G_m \cdot 1\text{m} = 7.128 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Hasznos teher 1m széles sávra:

$$q_k = q_k \cdot 1\text{m} = 3 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$q_m = q_m \cdot 1\text{m} = 2.753 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

a vizsgálat időpontja: $\frac{t}{365.25} = 150$ év

$$q_{ini} = q_k$$

$$s_{q.ini} = q_{ini} \cdot \nu_q$$

önsúly

$$s_h = \sqrt{s_h^2 \cdot \left(1 + 1.2 \cdot \frac{t}{1000 \cdot 365.25}\right)} = 0.025 \text{ m}$$

$$s_b = \sqrt{s_b^2 \cdot \left(1 + 1.2 \cdot \frac{t}{1000 \cdot 365.25}\right)} = 0.083 \text{ m}$$

$$g(b, h, \rho) = b \cdot h \cdot \rho$$

$$g(b, h, \rho) = 7.5 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$s_g = \sqrt{\left(\frac{d}{db} g(b, h, \rho) \cdot s_b\right)^2 + \left(\frac{d}{dh} g(b, h, \rho) \cdot s_h\right)^2 + \left(\frac{d}{d\rho} g(b, h, \rho) \cdot s_\rho\right)^2}$$

$$s_g = 0.926 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$\nu_g = \frac{s_g}{g(b, h, \rho)} = 12.347\%$$

$$g = g(b, h, \rho) = 7.5 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

hasznos teher

$$\lambda = 6.5$$

$$q = q_{ini} \sqrt{1 + \frac{0.577216}{\lambda} + \frac{\ln\left(\frac{t}{365.25}\right)}{\lambda}} = 4.091 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$s_q = s_{q,ini} \sqrt{6 \cdot \frac{\pi^2}{\lambda^2}}$$

$$s_q = 0.178 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$\frac{s_q}{q_{ini}} = 5.919\%$$

teljes teher

$$p_m = (g_m + q_m) = 9.881 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$s_p = \sqrt{s_g^2 + s_q^2} = 0.943 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$\nu_p = \frac{s_p}{p_m} = 9.543\%$$

Tönkrementeli valószínűség hajlításra:

$$p_{Rmx}(M_R, L_e) = \frac{7.14 \cdot M_R}{L_e^2}$$

$$p_{Rm} = p_{Rmx}(M_{Rd,m}, L_{eff}) = 28.945 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$s_{pR} = \sqrt{\left(\frac{d}{dM_{Rd,m}} p_{Rmx}(M_{Rd,m}, L_{eff}) \cdot s_{MRd}\right)^2 + \left(\frac{d}{dL_{eff}} p_{Rmx}(M_{Rd,m}, L_{eff}) \cdot s_L\right)^2} = 7.0621 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$p_{mG} = p_{Rm} - p_m = 19.06 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}} \quad s_{pG} = \sqrt{s_{pR}^2 + s_p^2} = 7.12 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$\beta = \frac{p_{mG}}{s_{pG}} = 2.676$$

$$p_{mG} = 19.064 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$p_M = \text{dnorm}\left(0, \frac{p_{mG}}{\frac{\text{kN}}{\text{m}}}, \frac{s_{pG}}{\frac{\text{kN}}{\text{m}}}\right) = 1.5612856301297475 \times 10^{-3} < p_{opt} = 10^{-4}$$

A vizsgált födéplemez tönkremeneteli valószínűsége az 2. verzió szerint

1. Adatok kezdeti értéke

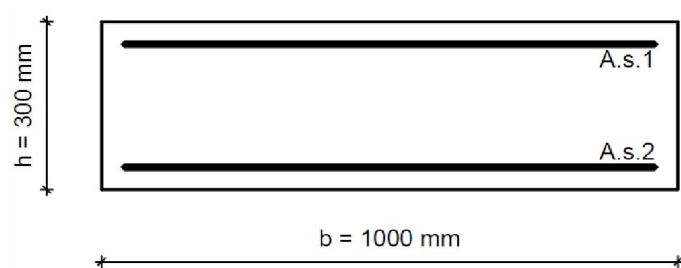
Geometria

$$b = 1000\text{mm}$$

$$h = 300\text{mm}$$

$$s_b = b \cdot 7\% = 70\text{mm}$$

$$s_h = h \cdot 7\% = 21\text{mm}$$



Vasalás: a húzott oldalon: $\phi 25/120$, a nyomott oldalon: $\phi 20/150$

$$\phi_1 = 25\text{mm}$$

$$\phi_2 = 20\text{mm}$$

$$t_1 = 120\text{mm}$$

$$t_2 = 150\text{mm}$$

$$A_{s,1} = \frac{1000\text{mm} \cdot (\phi_1^2 \cdot \pi)}{t_1 \cdot 4} = 4.091 \times 10^3 \cdot \text{mm}^2$$

$$A_{s,2} = \frac{1000\text{mm} \cdot (\phi_2^2 \cdot \pi)}{t_2 \cdot 4} = 2.094 \times 10^3 \cdot \text{mm}^2$$

$$d_1 = h - \frac{\phi_1}{2} - 30\text{mm} = 257\text{mm}$$

$$d_2 = \frac{\phi_2}{2} + 30\text{mm} = 40\text{mm}$$

$$s_{d,1} = d_1 \cdot 7\% = 18.025\text{mm}$$

$$s_{d,2} = d_2 \cdot 7\% = 2.8\text{mm}$$

Anyagjellemzők: beton: C30/37, betonacél: B500B

$$f_{ck} = 30 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$f_{yk} = 500 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$f_{cm} = 38 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$f_{ym} = f_{yk}$$

$$f_{ctm} = 2.9 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{1.15} = 434.783 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$E_{cm} = 33000 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$s_{fy} = f_{ym} \cdot 5.5\% = 27.5 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\epsilon_{cu} = 3.5\%$$

$$\epsilon_{uk} = 18\%$$

$$\epsilon_{cl} = 2.2\%$$

$$E_s = 200000 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$s_{fcm} = f_{cm} \cdot 18\% = 6.84 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$s_{fctm} = f_{ctm} \cdot 18\% = 0.522 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\epsilon_{sy} = \frac{f_{yd}}{E_s} = 2.174\%$$

$$s_{Ecm} = E_{cm} \cdot 4\% = 1.32 \times 10^3 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Időbeli változás

Relatív páratartalom:	RH = 60%
Vizsgálati időtartam:	évek = 150
A vizsgálat időpontja:	t = évek · 365.25
A lemez leterhelése:	t ₀ = 21 nap

A beton előállításához felhasznált cement típusa: **CEM I 42.5 N**

Zsugorodás számítása:

A cement fajtájától függő tényezők:
/normál portlandcement esetén/

$$\alpha_{ds1} = 4$$

$$\alpha_{ds2} = 0.12$$

A páratartalmat figyelembe vevő tényező:

$$\beta_{RH} = 1.55 \cdot \left[1 - \left(\frac{RH}{100\%} \right)^3 \right] = 1.215$$

A száradási zsugorodás kezdeti értéke:

$$\epsilon_{cd0} = 0.85 \left[220 + 110 \cdot \alpha_{ds1} \right] \cdot e^{\left(-\alpha_{ds2} \cdot \frac{f_{cm}}{10 \cdot \frac{N}{mm^2}} \right)} \cdot \beta_{RH} \cdot 10^{-6} = 0.432 \cdot \%$$

A beton keresztmetszeti területe:

$$A_{ca} = h \cdot b = 3 \times 10^5 \cdot mm^2$$

A km. környezettel érintkező kerülete:

$$u = 2 \cdot b = 2 \times 10^3 \cdot mm$$

Az elem névleges mérete:

$$h_0 = 2 \cdot \frac{A_{ca}}{u} = 300 \cdot mm$$

A k_h tényező lineáris interpolációval:

$$k_h = 0.925$$

A száradási zsugorodás végértéke:

$$\epsilon_{cd} = k_h \cdot \epsilon_{cd0} = 0.4 \cdot \%$$

Az autogén zsugorodás végértéke:

$$\epsilon_{ca} = 2.5 \cdot (f_{ck} - 10) \cdot 10^{-6} = 0.05 \cdot \%$$

A zsugorodás végértéke:

$$\epsilon_{cs} = \epsilon_{cd} + \epsilon_{ca} = 0.45 \cdot \%$$

Kúszási tényező számítása:

A tartó terhelésének kezdete napokban: $t_{0T} = 1$

A tervezett élettartam napokban: $t = 5.479 \times 10^4$

A cement típusától függő kitevő: $\alpha_c = 0$ (normál cement esetén)

A cement típusának a beton kúszási tényezőjére gyakorolt hatását a terhelési kor kezdetének módosításával vehetjük figyelembe:

$$t_0 = t_{0T} \cdot \left(\frac{9}{2 + t_{0T}^{1.2}} + 1 \right)^{\alpha_c} = 1$$

A betonszilárdság hatását figyelembe vevő tényezők értékei:

$$\alpha_1 = \begin{cases} \left(\frac{35}{f_{cm}} \right)^{0.7} & \text{if } f_{cm} > 35 \\ 1 & \text{otherwise} \end{cases} = 0.944$$
$$\alpha_2 = \begin{cases} \left(\frac{35}{f_{cm}} \right)^{0.2} & \text{if } f_{cm} > 35 \\ 1 & \text{otherwise} \end{cases} = 0.984$$
$$\alpha_3 = \begin{cases} \left(\frac{35}{f_{cm}} \right)^{0.5} & \text{if } f_{cm} > 35 \\ 1 & \text{otherwise} \end{cases} = 0.96$$

A beton keresztmetszeti területe: $A_c = h \cdot b = 3 \times 10^5 \cdot \text{mm}^2$

A keresztmetszet környezettel érintkező kerülete: $u = 2 \cdot b = 2 \times 10^3 \cdot \text{mm}$

Az elem névleges mérete: $h_0 = 2 \cdot \frac{A_c}{u} = 300 \cdot \text{mm}$

A környezet relatív páratartalma: $RH = 60\%$

A relatív páratartalomtól és az elem névleges méretétől függő tényező: $\beta_H = \min \left[1.5 \cdot \left[1 + (1.2 \cdot RH)^{18} \right], h_0 + 250 \cdot \alpha_3, 1500 \right]$

$$\beta_H = 1.4 \times 10^3$$

A kúszás időbeli lefutását leíró tényező:

$$\beta_c = \left(\frac{t - t_0}{\beta_H + t - t_0} \right)^{0.3} = 0.992$$

A relatív páratartalom hatását figyelembe vevő tényező:

$$\varphi_{RH} = \left(1 + \frac{1 - \frac{RH}{100\%}}{0.1 \cdot \sqrt[3]{h_0}} \cdot \alpha_1 \right) \cdot \alpha_2 = 1.539$$

A betonszilárdság hatását figyelembe vevő tényező:

$$\beta_{f_{cm}} = \frac{16.8}{\sqrt{f_{cm}}} = 2.725$$

A beton korának hatásait figyelembe vevő tényező:

$$\beta_{t_0} = \frac{1}{0.1 + t_0^{0.2}} = 0.909$$

A névleges kúszási tényező:

$$\varphi_0 = \varphi_{RH} \cdot \beta_{f_{cm}} \cdot \beta_{t_0} = 3.81$$

A kúszási tényező:

$$\varphi = \varphi_0 \cdot \beta_c = 3.78$$

Beton rugalmassági modulus új értéke "t" idő múlva:

$$E_{cm} = \frac{1.05 E_{cm}}{1 + \varphi} = 7245 \cdot \frac{N}{mm^2}$$

Beton szilárdság változása:

$$f_{cm}(t) = \beta_{cc}(t) \cdot f_{cm}$$

ahol $\beta_{cc}(t)$ a szilárdságcsökkenést leíró függvény:
$$\beta_{cc}(t) = \exp \left[s \left[1 - \left(\frac{28}{t} \right)^{\frac{1}{2}} \right] \right]$$

és ahol:

$s = 0.25$ a cement fajtájától függő tényező

t a vizsgált beton kora napokban

Legyen t_0 az az időtartam, ami alatt a beton szilárdsága zérusra csökken.

Ekkor a $\beta_{cc}(t)$ függvényt Taylor-sorba fejtéssel az alábbi formában írhatjuk:

$$\beta_{cc}(t) = 1 - \frac{1}{3} \cdot \left(\frac{t}{500 \cdot 365.25} \right)^2 - \frac{1}{3} \cdot \left(\frac{t}{500 \cdot 365.25} \right)^3 - \frac{1}{3} \cdot \left(\frac{t}{500 \cdot 365.25} \right)^4$$

Beton nyomószilárdság változása:

$$f_{cm} = f_{cm} \cdot \left[1 - \frac{1}{3} \cdot \left(\frac{t}{500 \cdot 365.25} \right)^2 - \frac{1}{3} \cdot \left(\frac{t}{500 \cdot 365.25} \right)^3 - \frac{1}{3} \cdot \left(\frac{t}{500 \cdot 365.25} \right)^4 \right] = 36.42 \cdot \frac{N}{mm^2}$$

$$s_{fcm} = \sqrt{s_{fcm}^2 \cdot \left[1 + 1.5 \cdot \left(\frac{t}{500 \cdot 365.25} \right) \right]} = 8.236 \cdot \frac{N}{mm^2}$$

Beton rugalmassági modulus változása:

$$E_{cm} = E_{cm} \cdot \left[1 - \frac{1}{3} \cdot \left(\frac{t}{500 \cdot 365.25} \right)^2 - \frac{1}{3} \cdot \left(\frac{t}{500 \cdot 365.25} \right)^3 - \frac{1}{3} \cdot \left(\frac{t}{500 \cdot 365.25} \right)^4 \right] = 6.94 \times 10^3 \cdot \frac{N}{mm^2}$$

$$s_{Ecm} = \sqrt{s_{Ecm}^2 \cdot \left[1 + 1.5 \cdot \left(\frac{t}{500 \cdot 365.25} \right) \right]} = 1.589 \times 10^3 \cdot \frac{N}{mm^2}$$

Betonacél szilárdság változása:

$$f_{ym} = f_{ym} \cdot \left[1 - \frac{1}{3} \cdot \left(\frac{t}{500 \cdot 365.25} \right)^2 - \frac{1}{3} \cdot \left(\frac{t}{500 \cdot 365.25} \right)^3 - \frac{1}{3} \cdot \left(\frac{t}{500 \cdot 365.25} \right)^4 \right] = 479.1 \cdot \frac{N}{mm^2}$$

$$s_{fym} = \sqrt{s_{fy}^2 \cdot \left[1 + 1.4 \cdot \left(\frac{t}{500 \cdot 365.25} \right)^{1.2} \right]} = 31.716 \cdot \frac{N}{mm^2}$$

Geometriai méretek változása:

$$s_h = \sqrt{s_h^2 \cdot \left(1 + 1.2 \cdot \frac{t}{1000 \cdot 365.25} \right)} = 22.812 \cdot mm$$

$$s_b = \sqrt{s_b^2 \cdot \left(1 + 1.2 \cdot \frac{t}{1000 \cdot 365.25} \right)} = 76.039 \cdot mm$$

$$s_{d1} = \sqrt{s_{d1}^2 \cdot \left(1 + 1.2 \cdot \frac{t}{1000 \cdot 365.25} \right)} = 19.58 \cdot mm$$

$$s_{d2} = \sqrt{s_{d2}^2 \cdot \left(1 + 1.2 \cdot \frac{t}{1000 \cdot 365.25} \right)} = 3.042 \cdot mm$$

Betonacél korrózió:

Az alkalmazott betonfedés: $c_{nom} = 30mm$

A betonacél rozsdásodásának kezdete:

$$t_r = 1 \cdot 365.25$$

A rozsdásodás időtartama:

$$T_r = t - t_r = 54422$$

Korróziósűrűség:

$$\text{víz-cement tényező: } v_c = 0.45$$

$$i_{\text{corr}}(t) = 37.8 \cdot \frac{(1 - v_c)^{-1.64}}{c_{\text{nom}} \cdot \frac{1}{\text{mm}}} \cdot 0.85 \cdot t^{-0.29}$$

Betonacélok átmérőjének változása:

$$\phi_{1,\text{corr}} = \left(\frac{\phi_1}{\text{mm}} - 0.0232 \cdot \int_0^{T_r} i_{\text{corr}}(t) \, dT \right) \cdot \text{mm} = 24.583 \cdot \text{mm}$$

$$\phi_{2,\text{corr}} = \left(\frac{\phi_2}{\text{mm}} - 0.0232 \cdot \int_0^{T_r} i_{\text{corr}}(t) \, dT \right) \cdot \text{mm} = 19.583 \cdot \text{mm}$$

Vasalás km.-i területe:

$$A_{s,1} = \frac{1000 \text{mm} \cdot (\phi_{1,\text{corr}}^2 \cdot \pi)}{t_1 \cdot 4} = 3.955 \times 10^3 \cdot \text{mm}^2$$

$$A_{s,2} = \frac{1000 \text{mm} \cdot (\phi_{2,\text{corr}}^2 \cdot \pi)}{t_2 \cdot 4} = 2.008 \times 10^3 \cdot \text{mm}^2$$

Nyúlás határok újradefiniálása:

$$\epsilon_{c1} = \frac{f_{cm}}{E_{cm}} = 5.245 \cdot \text{‰}$$

$$\epsilon_{ct} = \frac{f_{ctm}}{E_{cm}} = 0.418 \cdot \text{‰}$$

$$\epsilon_{sy} = \frac{f_{ym}}{E_s} = 2.4 \cdot \text{‰}$$

Nyomatéki teherbírás: $\alpha = 1.001$

☞ Reference:C:\Users\Marci\Desktop\Konzultáció\Mrd 2.jav.xmcd(R)

$$M_{Rd.m} = M_{Rdm} = 277.598 \cdot \text{kNm}$$

Nyomatéki teherbírás szórása:

$$b = b \cdot \alpha = 1.001 \times 10^3 \cdot \text{mm}$$

☞ Reference:C:\Users\Marci\Desktop\Konzultáció\Mrd 2.jav.xmcd(R)

$$M_{Rdm} = 277.598 \cdot \text{kNm}$$

$$b = \frac{b}{\alpha} = 1 \text{ m}$$

$$\Delta_{Mrb} = \left| \frac{M_{Rdm} - M_{Rd.m}}{b - b \cdot \alpha} \right| = 0 \cdot \text{kN}$$

$$d_1 = d_1 \cdot \alpha = 257.757 \cdot \text{mm}$$

☞ Reference:C:\Users\Marci\Desktop\Konzultáció\Mrd 2.jav.xmcd(R)

$$M_{Rdm} = 277.926 \cdot \text{kNm}$$

$$d_1 = \frac{d_1}{\alpha} = 257.5 \cdot \text{mm}$$

$$\Delta_{Mrd.1} = \left| \frac{M_{Rdm} - M_{Rd.m}}{d_1 - d_1 \cdot \alpha} \right| = 1.276 \times 10^3 \cdot \text{kN}$$

$$d_2 = d_2 \cdot \alpha = 40.04 \cdot \text{mm}$$

☞ Reference:C:\Users\Marci\Desktop\Konzultáció\Mrd 2.jav.xmcd(R)

$$M_{Rdm} = 277.547 \cdot \text{kNm}$$

$$d_2 = \frac{d_2}{\alpha} = 40 \cdot \text{mm}$$

$$\Delta_{Mrd.2} = \left| \frac{M_{Rdm} - M_{Rd.m}}{d_2 - d_2 \cdot \alpha} \right| = 1.276 \times 10^3 \cdot \text{kN}$$

$$f_{cm} = f_{cm} \cdot \alpha = 36.452 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

☞ Reference:C:\Users\Marci\Desktop\Konzultáció\Mrd 2.jav.xmcd(R)

$$M_{Rdm} = 277.598 \cdot \text{kNm}$$

$$f_{cm} = \frac{f_{cm}}{\alpha} = 36 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\Delta_{Mrfcm} = \left| \frac{M_{Rdm} - M_{Rd,m}}{f_{cm} - f_{cm} \cdot \alpha} \right| = 0 \frac{m^2 \cdot s^2}{kg} \cdot kN$$

$$E_{cm} = E_{cm} \cdot \alpha = 6.95 \times 10^3 \cdot \frac{N}{mm^2}$$

☞ Reference:C:\Users\Marci\Desktop\Konzultáció\Mrd 2.jav.xmcd(R)

$$M_{Rdm} = 277.598 \cdot kNm$$

$$E_{cm} = \frac{E_{cm}}{\alpha} = 6.943 \times 10^3 \cdot \frac{N}{mm^2}$$

$$\Delta_{MrEcm} = \left| \frac{M_{Rdm} - M_{Rd,m}}{E_{cm} - E_{cm} \cdot \alpha} \right| = 0 L$$

$$f_{ym} = f_{ym} \cdot \alpha = 479.629 \cdot \frac{N}{mm^2}$$

☞ Reference:C:\Users\Marci\Desktop\Konzultáció\Mrd 2.jav.xmcd(R)

$$M_{Rdm} = 277.875 \cdot kNm$$

$$f_{ym} = \frac{f_{ym}}{\alpha} = 479.15 \cdot \frac{N}{mm^2}$$

$$\Delta_{Mrfym} = \left| \frac{M_{Rdm} - M_{Rd,m}}{f_{ym} - f_{ym} \cdot \alpha} \right| = 5.794 \times 10^{-7} \frac{m^2 \cdot s^2}{kg} \cdot kN$$

$$s_{MRd} = \sqrt{(\Delta_{Mrb} \cdot s_b)^2 + (\Delta_{Mrd,1} \cdot s_{d1})^2 + (\Delta_{Mrd,2} \cdot s_{d2})^2 + (\Delta_{Mrfcm} \cdot s_{fcm})^2 + (\Delta_{MrEcm} \cdot s_{Ecm})^2 +}$$

$$\nu_{MRd} = \frac{s_{MRd}}{M_{Rd,m}} = 11.261 \cdot \%$$

Terhek adatainak időbeli változása: 0.13 kN/m² burkolat (+30 cm födémlemez vastagság) és 3 kN/m² hasznos teher

Önsúly

$$\rho = 25 \frac{kN}{m^3} \quad \nu_{\rho} = 4\% \quad s_{\rho} = \nu_{\rho} \cdot \rho = 1 \cdot \frac{kN}{m^3}$$

$$G_k = 0.13 \frac{kN}{m^2} + 0.30m \cdot \rho = 7.63 \cdot \frac{kN}{m^2}$$

$$G_m = G_k - G_k \cdot \nu_\rho \cdot 1.645 = 7.128 \frac{1}{m} \cdot \frac{\text{kN}}{m}$$

Hasznos teher

$$q_k = 3 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \quad \nu_q = 5\%$$

$$q_m = q_k - q_k \cdot \nu_q \cdot 1.645 = 2.753 \frac{1}{m} \cdot \frac{\text{kN}}{m}$$

Önsúly 1m széles sávra:

$$g_k = G_k \cdot 1\text{m} = 7.63 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$g_m = G_m \cdot 1\text{m} = 7.128 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Hasznos teher 1m széles sávra:

$$q_k = q_k \cdot 1\text{m} = 3 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$q_m = q_m \cdot 1\text{m} = 2.753 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

a vizsgálat időpontja:

$$q_{ini} = q_k$$

$$s_{q.ini} = q_{ini} \cdot \nu_q$$

önsúly

$$s_h = \sqrt{s_h^2 \cdot \left(1 + 1.2 \cdot \frac{t}{1000 \cdot 365.25}\right)} = 0.025 \text{ m}$$

$$s_b = \sqrt{s_b^2 \cdot \left(1 + 1.2 \cdot \frac{t}{1000 \cdot 365.25}\right)} = 0.083 \text{ m}$$

$$g(b, h, \rho) = b \cdot h \cdot \rho + g_m$$

$$g(b, h, \rho) = 14.63 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$s_g = \sqrt{\left(\frac{d}{db} g(b, h, \rho) \cdot s_b\right)^2 + \left(\frac{d}{dh} g(b, h, \rho) \cdot s_h\right)^2 + \left(\frac{d}{d\rho} g(b, h, \rho) \cdot s_\rho\right)^2}$$

$$s_g = 0.926 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$\nu_g = \frac{s_g}{g(b, h, \rho)} = 6.331\%$$

$$g = g(b, h, \rho) = 14.628 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

hasznos teher

$$\lambda = 6.5$$

$$q = q_{ini} \sqrt{1 + \frac{0.577216}{\lambda} + \frac{\ln\left(\frac{t}{365.25}\right)}{\lambda}} = 4.091 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$s_q = s_{q,ini} \sqrt{6 \cdot \frac{\pi^2}{\lambda^2}}$$

$$s_q = 0.178 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$\frac{s_q}{q_{ini}} = 5.919\%$$

teljes teher

$$p_m = (g_m + q_m) = 9.881 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$s_p = \sqrt{s_g^2 + s_q^2} = 0.943 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}} \quad \frac{s_p}{p_m} = 9.543\%$$

Tönkrementeli valószínűség hajlításra:

$$p_{Rmx}(M_R, L_e) = \frac{7.14 \cdot M_R}{L_e^2}$$

$$p_{Rm} = p_{Rmx}(M_{Rd,m}, L_{eff}) = 28.428 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$s_{pR} = \sqrt{\left(\frac{d}{dM_{Rd,m}} p_{Rmx}(M_{Rd,m}, L_{eff}) \cdot s_{MRd}\right)^2 + \left(\frac{d}{dL_{eff}} p_{Rmx}(M_{Rd,m}, L_{eff}) \cdot s_L\right)^2} = 4.6732$$

$$p_{mG} = p_{Rm} - p_m = 18.55 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}} \quad s_{pG} = \sqrt{s_{pR}^2 + s_p^2} = 4.77 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$\beta = \frac{p_{mG}}{s_{pG}} = 3.890$$

$$p_{mG} = 18.546 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$p_M = \text{dnorm}\left(0, \frac{p_{mG}}{\frac{\text{kN}}{\text{m}}}, \frac{s_{pG}}{\frac{\text{kN}}{\text{m}}}\right) = 4.327673743901256 \times 10^{-5} < p_{opt} = 10^{-4}$$

A vizsgált födéplemez tönkremeneteli valószínűsége a 3. eset szerint

1. Adatok kezdeti értéke

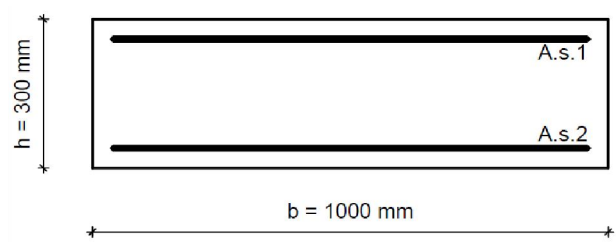
Geometria

$$b = 1000\text{mm}$$

$$h = 450\text{mm}$$

$$s_b = b \cdot 7\% = 70\text{mm}$$

$$s_h = h \cdot 7\% = 31.5\text{mm}$$



Vasalás: a húzott oldalon: $\phi 25/100$, a nyomott oldalon: $\phi 20/100$

$$\phi_1 = 25\text{mm}$$

$$\phi_2 = 20\text{mm}$$

$$t_1 = 100\text{mm}$$

$$t_2 = 100\text{mm}$$

$$A_{s,1} = \frac{1000\text{mm} \cdot (\phi_1^2 \cdot \pi)}{t_1 \cdot 4} = 4.909 \times 10^3 \cdot \text{mm}^2$$

$$A_{s,2} = \frac{1000\text{mm} \cdot (\phi_2^2 \cdot \pi)}{t_2 \cdot 4} = 3.142 \times 10^3 \cdot \text{mm}^2$$

$$d_1 = h - \frac{\phi_1}{2} - 30\text{mm} = 407.5\text{mm}$$

$$d_2 = \frac{\phi_2}{2} + 30\text{mm} = 40\text{mm}$$

$$s_{d1} = d_1 \cdot 7\% = 28.525\text{mm}$$

$$s_{d2} = d_2 \cdot 7\% = 2.8\text{mm}$$

Anyagjellemzők: beton: C35/45, betonacél: B500B

$$f_{ck} = 35 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$f_{yk} = 500 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$f_{cm} = 43 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$f_{ym} = f_{yk}$$

$$f_{ctm} = 3.2 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{1.15} = 434.783 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$E_{cm} = 33000 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$s_{fy} = f_{ym} \cdot 5.5\% = 27.5 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\epsilon_{cu} = 3.5\%$$

$$\epsilon_{uk} = 18\%$$

$$\epsilon_{cl} = 2.2\%$$

$$E_s = 200000 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$s_{fcm} = f_{cm} \cdot 18\% = 7.74 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$s_{fctm} = f_{ctm} \cdot 18\% = 0.576 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\epsilon_{sy} = \frac{f_{yd}}{E_s} = 2.174\%$$

$$s_{Ecm} = E_{cm} \cdot 4\% = 1.32 \times 10^3 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Időbeli változás

Relatív páratartalom:	$RH = 60\%$
Vizsgálati időtartam:	évek = 150
A vizsgálat időpontja:	$t = \text{évek} \cdot 365.25$
A lemez leterhelése:	$t_0 = 21 \text{ nap}$
A beton előállításához felhasznált cement típusa:	CEM I 42.5 N

Zsugorodás számítása:

A cement fajtájától függő tényezők: /normál portlandcement esetén/	$\alpha_{ds1} = 4$
	$\alpha_{ds2} = 0.12$
A páratartalmat figyelembe vevő tényező:	$\beta_{RH} = 1.55 \cdot \left[1 - \left(\frac{RH}{100\%} \right)^3 \right] = 1.215$

A száradási zsugorodás kezdeti értéke:

$$\epsilon_{cd0} = 0.85 \left[220 + 110 \cdot \alpha_{ds1} \right] \cdot e^{\left(-\alpha_{ds2} \cdot \frac{f_{cm}}{10 \frac{N}{mm^2}} \right)} \cdot \beta_{RH} \cdot 10^{-6} = 0.407 \cdot \text{‰}$$

A beton keresztmetszeti területe: $A_{ca} = h \cdot b = 4.5 \times 10^5 \cdot \text{mm}^2$

A km. környezettel érintkező kerülete: $u = 2 \cdot b = 2 \times 10^3 \cdot \text{mm}$

Az elem névleges mérete: $h_0 = 2 \cdot \frac{A_{ca}}{u} = 450 \cdot \text{mm}$

A k_h tényező lineáris interpolációval: $k_h = 0.925$

A száradási zsugorodás végértéke: $\epsilon_{cd} = k_h \cdot \epsilon_{cd0} = 0.376 \cdot \text{‰}$

Az autogén zsugorodás végértéke: $\epsilon_{ca} = 2.5 \cdot (f_{ck} - 10) \cdot 10^{-6} = 0.063 \cdot \text{‰}$

A zsugorodás végértéke: $\epsilon_{cs} = \epsilon_{cd} + \epsilon_{ca} = 0.439 \cdot \text{‰}$

Kúszási tényező számítása:

A tartó terhelésének kezdete napokban: $t_{0T} = 1$

A tervezett élettartam napokban: $t = 5.479 \times 10^4$

A cement típusától függő kitevő: $\alpha_c = 0$ (normál cement esetén)

A cement típusának a beton kúszási tényezőjére gyakorolt hatását a terhelési kor kezdetének módosításával vehetjük figyelembe:

$$t_0 = t_{0T} \cdot \left(\frac{9}{2 + t_{0T}^{1.2}} + 1 \right)^{\alpha_c} = 1$$

A betonszilárdság hatását figyelembe vevő tényezők értékei:

$$\alpha_1 = \begin{cases} \left(\frac{35}{f_{cm}} \right)^{0.7} & \text{if } f_{cm} > 35 \\ 1 & \text{otherwise} \end{cases} = 0.866$$

$$\alpha_2 = \begin{cases} \left(\frac{35}{f_{cm}} \right)^{0.2} & \text{if } f_{cm} > 35 \\ 1 & \text{otherwise} \end{cases} = 0.96$$

$$\alpha_3 = \begin{cases} \left(\frac{35}{f_{cm}} \right)^{0.5} & \text{if } f_{cm} > 35 \\ 1 & \text{otherwise} \end{cases} = 0.902$$

A beton keresztmetszeti területe: $A_c = h \cdot b = 4.5 \times 10^5 \cdot \text{mm}^2$

A keresztmetszet környezettel érintkező kerülete: $u = 2 \cdot b = 2 \times 10^3 \cdot \text{mm}$

Az elem névleges mérete: $h_0 = 2 \cdot \frac{A_c}{u} = 450 \cdot \text{mm}$

A környezet relatív páratartalma: $RH = 60\%$

A relatív páratartalomtól és az elem névleges méretétől függő tényező: $\beta_H = \min \left[1.5 \cdot \left[1 + (1.2 \cdot RH)^{18} \right], h_0 + 250 \cdot \alpha_3, 1500 \cdot c \right]$

$$\beta_H = 1.4 \times 10^3$$

A kúszás időbeli lefutását leíró tényező:

$$\beta_c = \left(\frac{t - t_0}{\beta_H + t - t_0} \right)^{0.3} = 0.993$$

A relatív páratartalom hatását figyelembe vevő tényező:

$$\varphi_{RH} = \left(1 + \frac{1 - \frac{RH}{100\%}}{0.1 \cdot \sqrt[3]{h_0}} \cdot \alpha_1 \right) \cdot \alpha_2 = 1.393$$

A betonszilárdság hatását figyelembe vevő tényező:

$$\beta_{f_{cm}} = \frac{16.8}{\sqrt{f_{cm}}} = 2.562$$

A beton korának hatásait figyelembe vevő tényező:

$$\beta_{t_0} = \frac{1}{0.1 + t_0^{0.2}} = 0.909$$

A névleges kúszási tényező:

$$\varphi_0 = \varphi_{RH} \cdot \beta_{f_{cm}} \cdot \beta_{t_0} = 3.25$$

A kúszási tényező:

$$\varphi = \varphi_0 \cdot \beta_c = 3.22$$

Beton rugalmassági modulus új értéke "t" idő múlva:

$$E_{cm} = \frac{1.05 E_{cm}}{1 + \varphi} = 8208 \cdot \frac{N}{mm^2}$$

Beton szilárdság változása:

$$f_{cm}(t) = \beta_{cc}(t) \cdot f_{cm}$$

ahol $\beta_{cc}(t)$ a szilárdságcsökkenést leíró függvény:
$$\beta_{cc}(t) = \exp \left[s \left[1 - \left(\frac{28}{t} \right)^2 \right] \right]$$

és ahol:

$s = 0.25$ a cement fajtájától függő tényező

t a vizsgált beton kora napokban

Legyen t_0 az az időtartam, ami alatt a beton szilárdsága zérusra csökken.

Ekkor a $\beta_{cc}(t)$ függvényt Taylor-sorba fejtéssel az alábbi formában írhatjuk:

$$\beta_{cc}(t) = 1 - \frac{1}{3} \cdot \left(\frac{t}{500 \cdot 365.25} \right)^2 - \frac{1}{3} \cdot \left(\frac{t}{500 \cdot 365.25} \right)^3 - \frac{1}{3} \cdot \left(\frac{t}{500 \cdot 365.25} \right)^4$$

Beton nyomószilárdság változása:

$$f_{cm} = f_{cm} \cdot \left[1 - \frac{1}{3} \cdot \left(\frac{t}{500 \cdot 365.25} \right)^2 - \frac{1}{3} \cdot \left(\frac{t}{500 \cdot 365.25} \right)^3 - \frac{1}{3} \cdot \left(\frac{t}{500 \cdot 365.25} \right)^4 \right] = 41.21 \cdot \frac{N}{mm^2}$$

$$s_{fcm} = \sqrt{s_{fcm}^2 \cdot \left[1 + 1.5 \cdot \left(\frac{t}{500 \cdot 365.25} \right) \right]} = 9.32 \cdot \frac{N}{mm^2}$$

Beton rugalmassági modulus változása:

$$E_{cm} = E_{cm} \cdot \left[1 - \frac{1}{3} \cdot \left(\frac{t}{500 \cdot 365.25} \right)^2 - \frac{1}{3} \cdot \left(\frac{t}{500 \cdot 365.25} \right)^3 - \frac{1}{3} \cdot \left(\frac{t}{500 \cdot 365.25} \right)^4 \right] = 7.87 \times 10^3 \cdot \frac{N}{mm^2}$$

$$s_{Ecm} = \sqrt{s_{Ecm}^2 \cdot \left[1 + 1.5 \cdot \left(\frac{t}{500 \cdot 365.25} \right) \right]} = 1.589 \times 10^3 \cdot \frac{N}{mm^2}$$

Betonacél szilárdság változása:

$$f_{ym} = f_{ym} \cdot \left[1 - \frac{1}{3} \cdot \left(\frac{t}{500 \cdot 365.25} \right)^2 - \frac{1}{3} \cdot \left(\frac{t}{500 \cdot 365.25} \right)^3 - \frac{1}{3} \cdot \left(\frac{t}{500 \cdot 365.25} \right)^4 \right] = 479.1 \cdot \frac{N}{mm^2}$$

$$s_{fym} = \sqrt{s_{fy}^2 \cdot \left[1 + 1.4 \cdot \left(\frac{t}{500 \cdot 365.25} \right)^{1.2} \right]} = 31.716 \cdot \frac{N}{mm^2}$$

Geometriai méretek változása:

$$s_h = \sqrt{s_h^2 \cdot \left(1 + 1.2 \cdot \frac{t}{1000 \cdot 365.25} \right)} = 34.218 \cdot mm$$

$$s_b = \sqrt{s_b^2 \cdot \left(1 + 1.2 \cdot \frac{t}{1000 \cdot 365.25} \right)} = 76.039 \cdot mm$$

$$s_{d1} = \sqrt{s_{d1}^2 \cdot \left(1 + 1.2 \cdot \frac{t}{1000 \cdot 365.25} \right)} = 30.986 \cdot mm$$

$$s_{d2} = \sqrt{s_{d2}^2 \cdot \left(1 + 1.2 \cdot \frac{t}{1000 \cdot 365.25} \right)} = 3.042 \cdot mm$$

Betonacél korrózió:

A beton karbonátosodása:

A környezeti függvény tervezési értéke:

$$\gamma_{RH} = 1.3$$

$$k_e = \left[\frac{1 - \left(\frac{RH}{\gamma_{RH} \cdot 100} \right)^5}{1 - \left(\frac{65}{100} \right)^5} \right]^{2.5} = 1.361$$

A beton utókezelésének időtartama:

$$t_c = 7$$

A gyártási tényező:

$$k_c = \left(\frac{t_c}{7} \right)^{-0.567} = 1$$

Regressziós paraméter:

$$k_{td} = 1.25$$

Az időjárás függvény:

/mivel a szerkezet beltéri,
így ennek értéke konstans, 1/

$$W(t) = 1$$

Inverz hatékony karbonátosodási ellenállás:

/gyorsított karbonátosodási kísérlettel
meghatározva/
/pontosabb adatok hiányában közelítésként
a CEM I 42.5 R-hez, és 0.40-es víz-cement
tényezőhöz tartozó érték, táblázat alapján/

$$R_{AAC.0.k} = 3.1 \times 10^{-11} \frac{\frac{m^2}{s}}{\frac{kg}{m^3}}$$

Parciális tényező:

$$\gamma_R = 1.5$$

$$R_{AAC.0.d} = R_{AAC.0.k} \cdot \gamma_R = 4.65 \times 10^{-11} \frac{\frac{m^2}{s}}{\frac{kg}{m^3}}$$

A gyorsított karbonátosodási kísérlet pontatlanságát figyelembe vevő tényező:

$$\epsilon_{td} = 315.5 \cdot \frac{\frac{mm^2}{s}}{\frac{kg}{m^3}}$$

A légköri CO₂ koncentráció:

$$C_{s,atm}(t) = (0.00057 + t \cdot 1.628 \cdot 10^{-6}) \cdot \frac{kg}{m^3}$$

Az emissziós források (gépkocsik)

következtében növekvő CO₂ koncentráció:

$$C_{s,emi}(t) = 0.1 \cdot C_{s,atm}(t)$$

/pontosabb adatok hiányában
a normál légköri koncentrációhoz képest
10%-os többlettel számolva/

Az összegzett CO₂ koncentráció:

$$C_s(t) = C_{s,atm}(t) + C_{s,emi}(t)$$

Ezek alapján a karbonátosodási mélység:

$$x_c(t) = \sqrt{2 \cdot k_e \cdot k_c \cdot (k_{td} \cdot R_{AAC.0.d} + \varepsilon_{td}) \cdot C_s(t) \cdot \frac{t}{365.25}} \cdot W(t)$$

Az alkalmazott betonfedés: $c_{nom} = 30\text{mm}$

A betonacél rozsdásodásának kezdete:

$$c_{nom} = x_c(t_r)$$

$$t_r = \text{Find}(t_r) = 7137 \text{ nap}$$

A rozsdásodás időtartama:

$$T_r = \max(0, t - t_r) = 47651$$

Korróziósűrűség:

víz-cement tényező: $vc = 0.45$

$$i_{\text{corr}}(t) = 37.8 \cdot \frac{(1 - vc)^{-1.64}}{c_{\text{nom}} \cdot \frac{1}{\text{mm}}} \cdot 0.85 \cdot t^{-0.29}$$

Betonacélok átmérőjének változása:

$$\phi_{1.\text{corr}} = \left(\frac{\phi_1}{\text{mm}} - 0.0232 \cdot \int_0^{T_r} \frac{365.25}{365.25} i_{\text{corr}}(t) dT \right) \cdot \text{mm} = 24.635 \cdot \text{mm}$$

$$\phi_{2.\text{corr}} = \left(\frac{\phi_2}{\text{mm}} - 0.0232 \cdot \int_0^{T_r} \frac{365.25}{365.25} i_{\text{corr}}(t) dT \right) \cdot \text{mm} = 19.635 \cdot \text{mm}$$

Vasalás km.-i területe:

$$A_{s.1} = \frac{1000\text{mm} \cdot (\phi_{1.\text{corr}}^2 \cdot \pi)}{t_1 \cdot 4} = 4.766 \times 10^3 \cdot \text{mm}^2$$

$$A_{s.2} = \frac{1000\text{mm} \cdot (\phi_{2,\text{corr}}^2 \cdot \pi)}{t_2 \cdot 4} = 3.028 \times 10^3 \cdot \text{mm}^2$$

Nyúlás határok újradefiniálása:

$$\epsilon_{c1} = \frac{f_{cm}}{E_{cm}} = 5.239 \cdot \text{‰}$$

$$\epsilon_{ct} = \frac{f_{ctm}}{E_{cm}} = 0.407 \cdot \text{‰}$$

$$\epsilon_{sy} = \frac{f_{ym}}{E_s} = 2.4 \cdot \text{‰}$$

Nyomatéki teherbírás: $\alpha = 1.001$

☞ Reference:C:\Users\Marci\Desktop\Konzultáció\Mrd 3.jav.xmcd(R)

$$M_{Rd.m} = M_{Rdm} = 891.077 \cdot \text{kNm}$$

Nyomatéki teherbírás szórása:

$$b = b \cdot \alpha = 1.001 \times 10^3 \cdot \text{mm}$$

☞ Reference:C:\Users\Marci\Desktop\Konzultáció\Mrd 3.jav.xmcd(R)

$$M_{Rdm} = 891.083 \cdot \text{kNm}$$

$$b = \frac{b}{\alpha} = 1 \text{ m}$$

$$\Delta_{Mrb} = \left| \frac{M_{Rdm} - M_{Rd.m}}{b - b \cdot \alpha} \right| = 6.579 \cdot \text{kN}$$

$$d_1 = d_1 \cdot \alpha = 407.907 \cdot \text{mm}$$

☞ Reference:C:\Users\Marci\Desktop\Konzultáció\Mrd 3.jav.xmcd(R)

$$M_{Rdm} = 892.01 \cdot \text{kNm}$$

$$d_1 = \frac{d_1}{\alpha} = 407.5 \cdot \text{mm}$$

$$\Delta_{Mrd.1} = \left| \frac{M_{Rdm} - M_{Rd.m}}{d_1 - d_1 \cdot \alpha} \right| = 2.29 \times 10^3 \cdot \text{kN}$$

$$d_2 = d_2 \cdot \alpha = 40.04 \cdot \text{mm}$$

☞ Reference:C:\Users\Marci\Desktop\Konzultáció\Mrd 3.jav.xmcd(R)

$$M_{Rdm} = 891.041 \cdot \text{kNm}$$

$$d_p = \frac{d_2}{\alpha} = 40 \cdot \text{mm}$$

$$\Delta_{Mrd.2} = \left| \frac{M_{Rdm} - M_{Rd.m}}{d_2 - d_2 \cdot \alpha} \right| = 886.566 \cdot \text{kN}$$

$$f_{cm} = f_{cm} \cdot \alpha = 41.248 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

☑ Reference:C:\Users\Marci\Desktop\Konzultáció\Mrd 3.jav.xmcd(R)

$$M_{Rdm} = 891.048 \cdot \text{kNm}$$

$$f_{cm} = \frac{f_{cm}}{\alpha} = 41 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\Delta_{Mrfcm} = \left| \frac{M_{Rdm} - M_{Rd.m}}{f_{cm} - f_{cm} \cdot \alpha} \right| = 0.702 \text{ L}$$

$$E_{cm} = E_{cm} \cdot \alpha = 7.873 \times 10^3 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

☑ Reference:C:\Users\Marci\Desktop\Konzultáció\Mrd 3.jav.xmcd(R)

$$M_{Rdm} = 891.041 \cdot \text{kNm}$$

$$E_{cm} = \frac{E_{cm}}{\alpha} = 7.866 \times 10^3 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\Delta_{MrEcm} = \left| \frac{M_{Rdm} - M_{Rd.m}}{E_{cm} - E_{cm} \cdot \alpha} \right| = 4.513115 \times 10^{-3} \text{ L}$$

$$f_{ym} = f_{ym} \cdot \alpha = 479.629 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

☑ Reference:C:\Users\Marci\Desktop\Konzultáció\Mrd 3.jav.xmcd(R)

$$M_{Rdm} = 891.913 \cdot \text{kNm}$$

$$f_{ym} = \frac{f_{ym}}{\alpha} = 479 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\Delta_{Mrfym} = \left| \frac{M_{Rdm} - M_{Rd.m}}{f_{ym} - f_{ym} \cdot \alpha} \right| = 1.744 \text{ L}$$

$$s_{MRd} = \sqrt{(\Delta_{Mrb} \cdot s_b)^2 + (\Delta_{Mrd.1} \cdot s_{d1})^2 + (\Delta_{Mrd.2} \cdot s_{d2})^2 + (\Delta_{Mrfcm} \cdot s_{fcm})^2 + (\Delta_{MrEcm} \cdot s_{Ecm})^2 +}$$

$$v_{MRd} = \frac{s_{MRd}}{M_{Rd.m}} = 10.16 \cdot \%$$

Terhek adatainak időbeli változása: 0.13 kN/m² burkolat (+55 cm födémlemez vastagság) és 3 kN/m² hasznos teher

Önsúly

$$\rho = 25 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} \quad \nu_{\rho} = 4\% \quad s_{\rho} = \nu_{\rho} \cdot \rho = 1 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$$

$$G_k = 0.13 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} + 0.55 \text{m} \cdot \rho = 13.88 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$G_m = G_k - G_k \cdot \nu_{\rho} \cdot 1.645 = 12.967 \frac{1}{\text{m}} \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Hasznos teher

$$q_k = 3 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \quad \nu_q = 5\%$$

$$q_m = q_k - q_k \cdot \nu_q \cdot 1.645 = 2.753 \frac{1}{\text{m}} \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Önsúly 1m széles sávra:

$$g_k = G_k \cdot 1\text{m} = 13.88 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$g_m = G_m \cdot 1\text{m} = 12.967 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Hasznos teher 1m széles sávra:

$$q_k = q_k \cdot 1\text{m} = 3 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$q_m = q_m \cdot 1\text{m} = 2.753 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

a vizsgálat időpontja: $\frac{t}{365.25} = 150$ év

$$q_{ini} = q_k$$

$$s_{q,ini} = q_{ini} \cdot \nu_q$$

önsúly

$$s_h = \sqrt{s_h^2 \cdot \left(1 + 1.2 \cdot \frac{t}{1000 \cdot 365.25}\right)} = 0.037 \text{ m}$$

$$s_b = \sqrt{s_b^2 \cdot \left(1 + 1.2 \cdot \frac{t}{1000 \cdot 365.25}\right)} = 0.083 \text{ m}$$

$$g(b, h, \rho) = b \cdot h \cdot \rho$$

$$g(b, h, \rho) = 11.25 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$s_g = \sqrt{\left(\frac{d}{db}g(b, h, \rho) \cdot s_b\right)^2 + \left(\frac{d}{dh}g(b, h, \rho) \cdot s_h\right)^2 + \left(\frac{d}{d\rho}g(b, h, \rho) \cdot s_\rho\right)^2} \quad s_g = 1.389 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$\nu_g = \frac{s_g}{g(b, h, \rho)} = 12.347\% \quad g = g(b, h, \rho) = 11.25 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

hasznos teher

$$\lambda = 6.5 \quad q = q_{\text{ini}} \sqrt{1 + \frac{0.577216}{\lambda} + \frac{\ln\left(\frac{t}{365.25}\right)}{\lambda}} = 4.091 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$s_q = s_{q, \text{ini}} \sqrt{6 \cdot \frac{\pi^2}{\lambda^2}} \quad s_q = 0.178 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}} \quad \frac{s_q}{q_{\text{ini}}} = 5.919\%$$

teljes teher

$$p_m = (g_m + q_m) = 15.72 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$s_p = \sqrt{s_g^2 + s_q^2} = 1.4 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}} \quad \frac{s_p}{p_m} = 8.908\%$$

Tönkremeneteli valószínűség hajításra:

$$p_{Rmx}(M_R, L_e) = \frac{7.14 \cdot M_R}{L_e^2}$$

$$p_{Rm} = p_{Rmx}(M_{Rd, m}, L_{\text{eff}}) = 91.252 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$s_{pR} = \sqrt{\left(\frac{d}{dM_{Rd, m}} p_{Rmx}(M_{Rd, m}, L_{\text{eff}}) \cdot s_{MRd}\right)^2 + \left(\frac{d}{dL_{\text{eff}}} p_{Rmx}(M_{Rd, m}, L_{\text{eff}}) \cdot s_L\right)^2} = 14.331 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$p_{mG} = p_{Rm} - p_m = 75.53 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}} \quad s_{pG} = \sqrt{s_{pR}^2 + s_p^2} = 14.4 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$\beta = \frac{p_{mG}}{s_{pG}} = 5.245 \quad p_{mG} = 75.532 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$p_M = \text{dnorm}\left(0, \frac{p_{mG}}{\frac{\text{kN}}{\text{m}}}, \frac{s_{pG}}{\frac{\text{kN}}{\text{m}}}\right) = 2.9368089608177046 \times 10^{-8} < p_{\text{opt}} = 10^{-4}$$

Multiflex zsaluzatok műszaki adatai

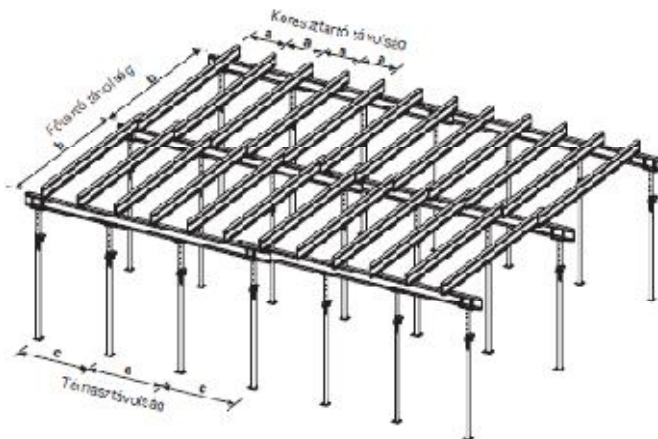
Födém-vastagság [m]		0,22			0,24			0,26			0,28			0,30			0,35	
Terhelés q^* [kN/m ²]		7,6			8,1			8,7			9,2			9,8			11,3	
Keresztartó távolság a [m]		0,75	0,625	0,50	0,625	0,50	0,40	0,625	0,50	0,40	0,625	0,50	0,40	0,625	0,50	0,40	0,50	0,40
Támasztávolság c [m]	0,60	2,45	2,60	2,80	2,53	2,73	2,94	2,47	2,66	2,86	2,41	2,60	2,80	2,36	2,54	2,74	2,42	2,61
		11,2	11,9	12,8	12,4	13,3	14,3	12,8	13,8	14,9	13,3	14,3	15,4	13,8	14,9	16,0	16,4	17,7
	0,90	2,45	2,60	2,80	2,53	2,73	2,94	2,47	2,66	2,82	2,41	2,60	2,66	2,36	2,50	2,50	2,16	2,16
		16,8	17,8	19,2	18,5	20,0	21,5	19,2	20,7	22,0	19,9	21,5	22,0	20,7	22,0	22,0	22,0	22,0
	1,20	2,41	2,41	2,41	2,25	2,25	2,25	2,12	2,12	2,12	2,00	2,00	2,00	1,88	1,88	1,88	1,62	1,62
		22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0
	1,50	1,92	1,92	1,92	1,80	1,80	1,80	1,69	1,69	1,69	1,60	1,60	1,60	1,50	1,50	1,50	1,30	1,30
		22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0
	1,80	1,48	1,48	1,48	1,38	1,38	1,38	1,30	1,30	1,30	1,23	1,23	1,23	1,15	1,15	1,15	1,00	1,00
		22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0
	2,10	1,13	1,13	1,13	1,05	1,05	1,05	0,99	0,99	0,99	0,93	0,93	0,93	0,88	0,88	0,88	0,76	0,76
		22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0
	2,40	0,91	0,91	0,91	0,85	0,85	0,85	0,80	0,80	0,80	0,76	0,76	0,76	0,71	0,71	0,71	0,61	0,61
		22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0

A lehajlás /500-ra korlátozva. A keresztartó köztávolság tartóként feltételezve.

A táblázat értékelnek jelentése:

2,25 magang tartó távolság h [m]

22,0 tényleges támaszterhek [kN]



Födém-vastagság [m]		0,40		0,45		0,50	
Terhelés q^* [kN/m ²]		12,9		14,4		16,0	
Keresztartó távolság a [m]		0,50	0,40	0,50	0,40	0,50	0,40
Támasztávolság c [m]	0,60	2,32	2,50	2,23	2,40	2,16	2,29
		12,9	19,3	19,3	20,8	20,7	22,0
	0,90	1,90	1,90	1,69	1,69	1,53	1,53
		22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0
	1,20	1,42	1,42	1,27	1,27	1,15	1,15
		22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0
	1,50	1,14	1,14	1,02	1,02	0,92	0,92
		22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0
	1,80	0,87	0,87	0,78	0,78	0,70	0,70
		22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0
	2,10	0,67	0,67	0,58	0,58	0,54	0,54
		22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0
	2,40	0,54	0,54	0,48	0,48	0,43	0,43
		22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0

Sika Termékek Katalógusai

Műszaki Adatlap
Kiadás dátuma 08/2004
Verziószám: 02
Sikadur®-51

Sikadur®-51

Oldószermentes, tixotróp, kétkomponensű, epoxi fugakitöltő massa

Termékleírás:	Rakodó- és átrakóterek tixotróp, kétkomponensű, epoxigyanta kötőanyagú fugakitöltő anyaga. Az epoxigyanta komponenseket a Sikadur-51 előre csomagolva tartalmazza.
Alkalmazási terület:	Kiszögésű fugák tömítésére. Az ipari padlók egyenetlenségeinek kitöltésére, repedések és sérült fugák kijávitására, erős igénybevételű felületeknél, különösen rakodó- és átrakótereken.
Termékelőnyök:	> Oldószermentes, > Egyszerű feldolgozás spatulyával vagy kittpisztollyal, > Allékony, függőleges feldolgozáshoz, > Gyors átkeményedés, > Magas páratartalom mellett is zavartalanul kikeményedik, > Illóanyag alkotórész nélkül, nincs zsugorodás, > Jó mechanikai ellenállóképesség, > Jó tapadóképesség cementes kötőanyagú alapfelületekre.
Szállítás:	Egységcsomag: 3,0 kg (1,93 liter)
Szín:	Szürke
Eltarthatóság:	Eredeti, felbontatlan, sérülésmentes csomagolásban 12 hónapig tárolható. Az edényt ne tároljuk napon és fűtőtest közelében. Nedvességtől óvjuk.

Termékadatok:

Műszaki tulajdonságok:

Jellemző értékek	Megjegyzés
Kémiai megnevezés:	Kétkomponensű epoxigyanta
Keverési arány:	2:1 Tömegarány
Sűrűség:	1,55 g/cm ³ DIN 53 479 B
Bedolgozási idő, fazékidő:	kb. 2 óra 10 °C-on kb. 1 óra 20 °C-on kb. 1/2 óra 30 °C-on
Megengedett teljes alakváltozás:	5% Összenyomódás- megnyúlás
Igénybevételi idő: (hőmérséklettől függ)	járható mechanikusan 1-2 nap múlva vegyleg 2-6 nap múlva 10-14 nap múlva
Feldolgozási hőmérséklet:	+8 °C ... +30 °C Épületszerkezet hőmérséklete
Alkalmazási hőmérséklet:	-20 °C ... +50 °C
Keménység Shore A:	70-80
Húzófeszültség*:	0,7-0,8 N/mm ² 10%-os összenyomódásnál
Húzószilárdság*:	≥ 2,5 N/mm ² DIN 53 455/3. fejezet
Szakadási nyúlás*:	≥ 60% DIN 53 544/3. fejezet
Tapadószilárdság*:	≥ 1,5 N/mm ² DIN 52 455 (betonhézagok)

* 20 °C/50% relatív páratartalom mellett 10 napos korban

Construction



Termék Adatlap
Kiadás dátuma 08/2009
Verziószám: 03
Sikafloor®-156

Sikafloor®-156

Epoxigyanta alapozáshoz, felületkiegyenlítéshez, habarcs és esztrich előállításához

Termékleírás A Sikafloor®-156 alacsony viszkozitású, színtelen, kétkomponensű, oldószermentes epoxigyanta.

Alkalmazási terület Alapozóként, felületkiegyenlítőként és profilhelyreállításához valamennyi Sikafloor epoxi- és poliuretángyanta padlóburkolat alá. Kiválóan alkalmas műgyanta esztrich előállítására.

Normál és erősen nedvszívó, beton és cementesztrich felületekre bel- és kültérben.

Túl magas maradéknedvesség tartalmú (4%-ig) cementesztrichnél, mint szigetelés padlóburkolási és parkettázási munkáknál

- Termékelőnyök**
- Alacsony viszkozitás
 - Jó behatoló képesség
 - Nagy mechanikai szilárdság
 - Egyszerű adagolás
 - Könnyű bedolgozhatóság
 - Rövid várakozási idők

Termékadatok

Megjelenés

Szín Sárgásan áttetsző

Szállítás 3 kg, 10 kg és 25 kg (A+B) egységcsomagban
Hordós kiszerezésű A komponens 180 kg, B komponens 60 kg
Tartályos kiszerezésű szállítás kérésre lehetséges.

Eltarthatóság Felbontatlan csomagolásban, hűvös és száraz helyen legalább 2 évig tárolható.



Termék Adatlap
 Kiadás dátuma 07/2007
 Verziószám: 04
 Sikafloor®-354

Sikafloor®-354

Kétkomponensű, szívósan rugalmas, színes fedőbevonat

Termékleírás	A Sikafloor®-354 kétkomponensű, oldószermentes, színes, rugalmas epoxigyanta fedőbevonat.	
Alkalmazás	<ul style="list-style-type: none"> ■ Repedésáthidaló tulajdonságú kopásálló fedőbevonat beszórt rendszerekhez, magas mechanikai igénybevételű ipari padlókhöz ■ Különösen alkalmas parkolóházak földemein, rámpákon, raktárakban, stb. 	
Jellemzők és előnyök	<ul style="list-style-type: none"> ■ Szívósan rugalmas és kopásálló ■ Igen magas kopási ellenállóság ■ Jó mechanikai és vegyi ellenállóság ■ Vízszigetelő ■ Magas fedőképesség ■ Oldószermentes ■ Könnyű feldolgozhatóság 	
Tanúsítvány		
Vizsgálati bizonyítvány	A németországi Polymer Institut intézet 2004. augusztusi vizsgálata alapján a német Rili-SIB 2001 szabvány szerint OS 11a (Nr. P 3600-1) és OS 13 (Nr. P 2012-7).	
Termékadatok		
Külső megjelenés		
Szín	A komponens	színes folyadék
	B komponens	színtelen folyadék
	Standardszín: kavicsszürke, kb. RAL 7032, további színek megrendelésre.	
	A világosabb árnyalatoknál (mint pl. a sárga ill. narancsszín) a kvarchomokkal való feltöltés után árnyalati eltérések léphetnek fel. Ezeknél a színárnyalatoknál a fedőképesség felületi bevonatként alkalmazva korlátozott. Ajánlott egy próbabevonat készítése. UV és időjárás hatások esetén színeltérés lehetséges.	
Szállítás	25 kg (A+B)	
	A komponens	21,25 kg
	B komponens	3,75 kg
Tárolás		
Tárolási feltételek/eltarthatóság	Felbontatlan eredeti csomagolásban, hűvös, fagymentes (+5 °C és +30 °C hőmérsékletek közötti) helyen legalább 12 hónapig tárolható. Tartsuk szárazon.	



Műszaki adatok

Alapanyag	Epoxygyanta		
Sűrűség	A komponens: kb. 1,73 kg/dm ³ (+23 °C-on) B komponens: kb. 1,05 kg/dm ³ (+23 °C-on) Keverék: kb. 1,60 kg/dm ³ (+23 °C-on)	(DIN EN ISO 2811-1)	
Szilárdanyag tartalom	Kb. 100 térfogat% Kb. 100 tömeg%		

Mechanikai / fizikai tulajdonságok

Shore D keménység	60 (14 nap, 23 °C, 50% rel. páratartalom)	DIN 53 505
Kopásállóság	75 mg Taber (CS 10/100/1000) (8 nap, 23 °C, 50% rel. páratartalom)	DIN 53 109

Ellenállóság

Vegyi ellenállóság	Ellenáll különféle vegyi anyagoknak. Lásd: Vegyszerállósági lista									
Hőállóság	<table><thead><tr><th>Kitettség*</th><th>Száraz meleg</th></tr></thead><tbody><tr><td>Folyamatos</td><td>+50 °C</td></tr><tr><td>Rövid idejű, max. 7 nap</td><td>+80 °C</td></tr><tr><td>Rövid idejű, max. 8 óra</td><td>+100 °C</td></tr></tbody></table>	Kitettség*	Száraz meleg	Folyamatos	+50 °C	Rövid idejű, max. 7 nap	+80 °C	Rövid idejű, max. 8 óra	+100 °C	
Kitettség*	Száraz meleg									
Folyamatos	+50 °C									
Rövid idejű, max. 7 nap	+80 °C									
Rövid idejű, max. 8 óra	+100 °C									

*Nem egyidejű vegyi és mechanikai terhelés esetén.
Melegvízes tisztítás (pl. gőzborotva) +80 °C-ig.

Rendszerfelépítés

Rétegfelépítés/ anyagfelhasználás	Beszórt poliuretán rendszer lezárásaként: Bázisréteg: Sikafloor®-350 vagy Sikafloor®-355 N Fedőbevonat: 1 x Sikafloor®-354
--------------------------------------	--

Feldolgozási tudnivalók

Felhasználás	<table><thead><tr><th>Réteg</th><th>Termék</th><th>Anyagfelhasználás</th></tr></thead><tbody><tr><td>Beszórt epoxi/poliuretán rendszer lezárásaként</td><td>Sikafloor®-354*</td><td>0,7-0,9 kg/m²</td></tr></tbody></table>	Réteg	Termék	Anyagfelhasználás	Beszórt epoxi/poliuretán rendszer lezárásaként	Sikafloor®-354*	0,7-0,9 kg/m ²
Réteg	Termék	Anyagfelhasználás					
Beszórt epoxi/poliuretán rendszer lezárásaként	Sikafloor®-354*	0,7-0,9 kg/m ²					

A Sikafloor®-354 max. 5 tömeg% Verdünnung C-vel hígítható.

Az irányadó felhasználási mennyiség nem tartalmazza az alapfelület porozitásától, érdességétől, síkeltérésétől függő többletmennyiségeket, valamint az edényben maradó anyag miatti veszteségeket

Alapfelület minősége	A Sikafloor® alapfelület legyen tiszta, száraz, minden szennyeződéstől mentes, mint pl. zsír, olaj, régi bevonat stb. A tapadószilárdság sehol nem lehet kevesebb, mint 1,5 N/mm ² Amennyiben bizonytalanság lép fel, készítsünk előzetes mintafelületet.
Alapfelület előkészítés	A felületről teljesen el kell távolítani a laza, porló és rosszul tapadó részeket, célszerűen egy ipari porszívóval.