

ENGEDÉLYEZÉSI TERV

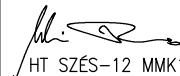
Megbízó:

*Pétervásárai Közös Önkormányzati Hivatal
3250 Pétervására, Szabadság tér 1. 36/568-036*

Projekt megnevezése:

*lparterület kialakítása Pétervásárán
I. ütem-TOP_PLUSZ-1.1.1-21-HE1-2022-00009*

Szakági tervező:



HT SZÉS-12 MMK12-0366



Makai Tamás E.V.

Tel.: 30/605-6901
E-mail: makai.hid@gmail.com
Cím: 2000 Szentendre, Mária u. 10.

Tárgy:

*Pétervására, Ipari Park U-1 j. feltáró út
0+564.30 km szelvényben kerethíd
építése a Tő-patakon*

Tervszám: H-2025-9

Rajz megnevezése:

MŰSZAKI LEÍRÁS

Dátum:

2026.06.05

Méretarány:

- - -

Rajzszám:

01

**Iparterület kialakítása Pétervásáran
I. ütem-TOP_PLUSZ-1.1.1-21-HE1-2022-00009**

**Ipari Park
U-1 j. feltáró út
0+564.30 km szelvényben
Tó-patak kerethíd építés**

ENGEDÉLYEZÉSI TERV

„B” – MŰTÁRGYÉPÍTÉS

MŰSZAKI LEÍRÁS

TARTALOMJEGYZÉK

Tervezői nyilatkozat.....	3
1. Bevezetés.....	4
1.1. Előzmények.....	4
1.2. Tervezési feladat.....	4
1.3. Tervdokumentáció tartalma	5
2. Alapadatok.....	5
2.1. Alkalmazott szabványok és előírások	5
2.2. A tervezéshez felhasznált alapadatok	6
2.3. Átvezetett út alapadatai	6
2.4. Áthidalt akadály adatai	6
2.5. Műtárgy alapadatai	6
3. Anyagminőségek, anyagjellemzők	7
3.1. Szerkezeti elemek.....	7
4. Részletes műszaki előírások.....	7
4.1. Terület előkészítés, kitűzés.....	7
4.2. Építési ütemezés.....	7
4.3. Közművek	7
4.4. Alapozás.....	7
4.5. Háttöltés	8
4.6. Szerkezet.....	8
4.7. Szigetelés	9
4.8. Meder burkolása	9
4.9. Egyéb tartozékok	9
5. További általános előírások	9
5.1. Villámvédelem	9
5.2. Környezetvédelmi előírások	10
5.3. Tűzvédelmi előírások	11
5.4. Munkavédelmi előírások	11

MELLÉKLETEK:

- Hidraulikai ellenőrzés
- Statilai számítás

Tervezői nyilatkozat

Tervszám:	H-2025-9
A projekt megnevezése:	Iparterület kialakítása Pétervásáran I. ütem-TOP_PLUSZ-1.1.1-21-HE1-2022-00009
Műtárgy jele:	B02 jelű műtárgy
Tervfázis:	Engedélyezési terv
Szakág:	Híd- / műtárgyépítés

Pétervására, Ipari Park U-1 j. feltáró út 0+564.30 km szelvényben

Tó-patak kerethíd építés

A hatályos jogszabályi rendelkezések alapján az alábbi tervezői nyilatkozatot tesszük:

A dokumentációban szereplő létesítmény tervezése, üzemeltetése és fenntartása során minden releváns munkavédelmi, biztonságtechnikai, egészségügyi, környezetvédelmi és egyéb hatósági előírás betartásra került. Az alkalmazott szabályok érvényesítésének konkrét módszereit, részleteit és vonatkozó adatokat a Műszaki leírás egyes fejezetei tartalmazzák.

A tervezés folyamán figyelembe vettük a Munkavédelmi törvényben meghatározott követelményeket.

A szakági tervdokumentáció kidolgozása során előzetes egyeztetések zajlottak a vonatkozó szakhatóságokkal, az érintett közútkezelővel, közmű-üzemeltetőkkel, valamint az egyéb illetékes szervezetekkel. Az alkalmazott műszaki megoldások maradéktalanul megfelelnek a hatályos jogszabályoknak és a vonatkozó hatósági előírásoknak. A különböző szakterületek tervezőivel folyamatos koordináció zajlott a tervezési folyamat során.

A tervdokumentációt készítő szakági tervezőként a szükséges szakmai jogosultságokkal rendelkezem.

Salgótarján, 2026.06.05.



Makai Tamás
felelős tervező

Hídtervező (HT), hídszerkezeti szakértő (SZÉS12)
nyilvántartási szám:
12-0366

1. Bevezetés

1.1. Előzmények

A projekt a Terület- és Településfejlesztési Operatív Program Plusz finanszírozásában valósul meg.

Pályázati felhívás azonosítója és neve: TOP_PLUSZ-1.1.1-21-HE1 – Helyi gazdaságfejlesztés

Kedvezményezett: PÉTERVÁSÁRA VÁROSI ÖNKORMÁNYZAT

A projekt címe: Iparterület kialakítása Pétervásárán I. ütem

Pétervására iparterület-fejlesztésének I. üteme egy cca. 11 ha nagyságú, zöldmezős iparterület létrehozását célozza a város déli–délkeleti részén. A fejlesztés része a terület megvásárlása, mezőgazdasági művelésből történő kivonása, a szerkezeti terv módosítása, valamint az ipari parcellák kialakítása a tervezett úthálózati struktúrához igazodóan. A beruházás során kiépül a fő feltáró út, a telkek elérését biztosító bekötőutak, továbbá a víz-, szennyvíz-, gáz- és villamosenergia-ellátást biztosító alapközmű-hálózat, beleértve a telekhatárig történő bekötéseket. A csapadékvíz-elvezető rendszer tervei a VGT2 előírásainak megfelelően a helyben történő visszatartás és hasznosítás elvét követik.

A tervezett feltáró út a megadott műszaki jellemzők (9,0 m koronaszélesség, 2×3,0 m forgalmi sáv, iparterületi kiszolgáló szerepkör) alapján az e-UT előírások szerint D-kategóriájú kiszolgáló út, jellemzően D.V. vagy D.VI. osztály (e-UT 03.02.11). Ezek ipari és gazdasági területek belső feltáró útjai, 6,0–9,0 m burkolatszélességgel, 30–40 km/h tervezési sebességgel, valamint jelentős tehergépjármű-forgalomra méretezett pályaszerkezettel. A projekt paraméterei alapján az út nagy valószínűséggel a D.VI. osztályba sorolható, illetve a várható teherforgalom függvényében a D.V kategória is alkalmazható.

Az úthálózat megvalósításához három műtárgy létesítése szükséges:

- Híd építése a Tarna-patak felett,
- Áteresz építése a névtelen, 067 hrsz-ú árkon,
- Kerethíd építése a Tó-patakon.

A projekt ipari felépítményeket (pl. csarnokokat) nem tartalmaz; ezek kivitelezése a később betelepülő vállalkozások feladata lesz. A kijelölt terület ugyanakkor lehetőséget biztosít további cca. 36 ha terület bővítésére, amely a fejlesztés II. ütemeként valósulhat meg.

1.2. Tervezési feladat

Megrendelő a projekt tervezési feladatait külön szerződésekben végezteti: geotechnikai, földmérési, élővízfolyások feletti híd/műtárgy-tervezés, valamint útépítési generáltervezés. Az útépítési generáltervezői feladatok részeként készül a közműhálózat (gáz, víz, szennyvíz, elektromos) terve is.

Élővízfolyások feletti híd/műtárgy-tervezés keretén belül az alábbi létesítmények kerültek megtervezésre

Ssz.	Jel	Szelvény	Megnevezés
1.	B01	0+285,08	Tarna-patak feletti híd
2.	B02	0+564,30	Tó-patak kerethíd

MŰSZAKI LEÍRÁS

A létesítendő közúti hidat a várható forgalomnak megfelelően az e-UT előírások szerinti „**A**” **terhelési osztály** figyelembevételével terveztük (e-UT 07.01.12:2011). A tervezés során biztosítottuk, hogy a szerkezet megfeleljen az „A” jelű tehernek, figyelembe véve a rendkívüli terheket, valamint a fenntartási és üzemeltetési követelményeket.

A műtárgyak szerkezeti kialakításánál előnyben részesítettük az előregyártott vagy előfeszített vasbeton gerendákkal együttműködő pályalemez megoldást, a végleges szerkezeti rendszert a statikai számítások és a helyszíni adottságok alapján határoztuk meg.

A hidak kialakításánál biztosítottuk:

- a tervezett burkolat és forgalmi sávok megfelelő alátámasztását,
- a megfelelő vízelvezetést,
- valamint a fenntartható és biztonságos közlekedést a teljes élettartam alatt.

1.3. Tervdokumentáció tartalma

- Szakág: **B – Híd- / műtárgyépítés**
- Terv megnevezése: **B02 j., Pétervására, Ipari Parki U-1.j feltáró út
0+564,30kmsz Tó-patak kerethíd műtárgy
Engedélyezési terv**
- Terv fázisa: **Engedélyezési terv**

Jelen tervdokumentáció a megnevezett szakági terveket tartalmazza. A tervdokumentáció együtt kezelendő a csatlakozó szakági tervekkel. A méretek a helyszínen ellenőrizendők. Ellentmondás esetén a tervező(k) haladéktalanul értesítendő, a tervek a felmérés függvényében szükség esetén javítandók. A tervektől való eltérésből eredő hibákért felelősséget nem vállalunk.

2. Alapadatok

2.1. Alkalmazott szabványok és előírások

- Az országos közutakon alkalmazott Útügyi Műszaki Előírások:
 - e-UT 03.01.11:2008 - Közutak tervezése (KTSZ)
 - e-UT 04.04.13:2020/M2:2025 Közúti visszatartó rendszerek (KVR)
 - e-UT 06.02.11:2022 Közutak létesítésének általános geotechnikai szabályai
 - e-UT 07.01.11:2011 Közúti hidak tervezése (KHT) 1.
 - e-UT 07.01.12:2011 - Erőtani számítás. Közúti hidak tervezése (KHT) 2.
 - e-UT 07.01.14:2011 - Beton, vasbeton és feszített vasbeton hidak. Közúti hidak tervezése (KHT) 4.
 - e-UT 07.03.11:2018/M1:2020 Közúti hidak sarui és dilatációs szerkezetei
 - e-UT 07.03.25:2020 Vasbeton pályalemezű hidak szigetelése és kocsipályaburkolata
 - e-UT 07.04.11:2021/M1:2023 Acélszerkezetek korrózióvédelme
 - e-UT 07.04.13:2021 Kész betonszerkezetek korrózióvédelme

2.2. A tervezéshez felhasznált alapadatok

A tervdokumentációt a Megrendelő tervezési diszpozíciója és az útszakági tervezőtől kapott adatszolgáltatás alapján készítettük. A geotechnikai dokumentációt a SZÁMGEO Bt., készítette, melyet a Megrendelő a rendelkezésünkre bocsájtott.

2.3. Átvezetett út alapadatai

- Megnevezése: Pétervására Ipari Park U-1 j. feltáró út
- Korona szélessége: 9,00 m
- Keresztezés szelvénye: **0+564,30** kmsz.
- Pályaszint keresztezésnél: 173.70 mBf
- Helyszínrajzi vonalvezetés: egyenes
- Magassági vonalvezetés: konstans emelkedés, 1,74%
- Keresztesés: tető, 2.5%
- Töltés rézsűhajlása: 1:1.5
- Burkolatszélesség: 2 x 3,00 = 6,00 m

2.4. Áthidalt akadály adatai

- Megnevezése: Tó-patak
- Mederfenék szélesség: 1.50 m
- Keresztezés szelvénye: 0+424 kmsz.
- Mederfenék keresztezésnél: 170.65 mBf

2.5. Műtárgy alapadatai

- Teherbírás: e-UT 07.01.12:2011 szerinti 'A' jelű teher
- Szerkezeti rendszer: előregyártott vasbeton keret FZK 3,5x3,0
- Keresztezés ferdesége: 34,60°
- Szabadnyílás: 3,60 m
- Keretszerkezet teljes hossza: 31,65 m
- Keretszerkezet hosszesése: 3,20 m/km
- Tervezett rétegrend a keretszerkezet felett:
 - 4 cm AC-11 kopóréteg
 - 7 cm AC-22 kötőréteg
 - 25 cm Ckt útalap
 - 20 cm zúzottkő ágyazat
 - 2 rtg. bitumenmáz kenés
 - előregyártott vasbeton keret (FZK 3,5x3,0)

3. Anyagminőségek, anyagjellemzők

3.1. Szerkezeti elemek

Betonok:

A betonok minősége az MSZ 4798:2016 szabvány, az e-UT 07-01.14, illetve az e-UT 07.04.13 (M1 táblázata) Útügyi Műszaki Előírás szerint értendők.

- | | |
|-----------------------------|----------------------|
| - Aljzat- / Szerelőbetonok: | C16/20-XN(H)-24-F1 |
| - Előregyártott keretelem: | C40/50 (#) |
| - Lezáró fog: | C30/37-XC2-XF2-24-F2 |

megjegyzés: EK - Üzemi gyártásellenőrzés megfelelőségi tanúsítvány alapján
Az alkalmazandó cement(ek) pontos fajtáját a betonminőség és az előírt kitéti osztályok függvényében a vonatkozó szabványoknak megfelelően szükséges megválasztani.

Acélok:

- | | |
|-------------------------------|---------|
| -Betonacél (MSZ 339:2008): | B500B |
| -Szerkezeti acél (MSZ 10025): | S235 JR |

4. Részletes műszaki előírások

4.1. Terület előkészítés, kitűzés

- A műtárgy EOVS rendszerben, EOMA magassággal került megtervezésre.
- A megadott magasságok a tervezett, végleges állapotot jelölik.

4.2. Építési ütemezés

- A műtárgy építése egy ütemben történhet, így az építés során külön építési, forgalomtechnikai ütemezés nem szükséges.

4.3. Közművek

- A műtárgy környezetében az alábbi TERVEZETT közművek vannak:
 - gáz vezetékek
 - ivóvíz vezetékek
 - nyomott szennyvíz vezetékek
 - kis- / közép feszültségű elektromos vezetékek
- A tervezési helyszín környezetében jelenleg nincs meglévő, üzemelő közműnyomvonal.
- A munkavégzés során a közműszolgáltatók hozzájárulásaiban foglaltak betartandók!

4.4. Alapozás

Az egyenletes felfekvés és teherbírás biztosítása érdekében a vasbeton lemez / szerelőbeton alá az alapozásra alkalmas altalaj eléréséhez kb. 60 cm vastagságú talajcsere szükséges Z0/90 anyagból. Az alapozásra alkalmas altalaj szintjét a

MŰSZAKI LEÍRÁS

talajvizsgálati jelentések, illetve a kivitelezés során, a munkagödör kiemelése során végzett talajmechanikai vizsgálatok alapján kell véglegesíteni. A vasbeton szerkezet $E_2 > 65$ MPa teherbírással és $T_{rp} \geq 90\%$ tömörséggel rendelkező és szerkezetépítésre megfelelő állagú altalajra építhető.

4.5. Háttöltés

- A hát-, elő- és rátöltések tömörségére (T_{rq}) vonatkozó átlag előírt határ $\geq 97\%$, a hát- és rátöltések tetején a minimálisan elvárt teherbírás, azaz az átlag előírt határ $E_2 \geq 75$ MPa legyen. A záró szinten a beépítés tömörsége és teherbírása egyezzen meg a csatlakozó út legfelső méretezett vastagságú réteg (úttükör) előírt értékeivel, de legalább érje el az előbbi szakaszban előírt értékeket.
- A háttöltések alatt $E_2 \geq 30$ MPa teherbírást kell elérni $T_{rq} \geq 90\%$ tömörségi fok mellett
- A földművek tömörségét 50 cm-es rétegenként kell igazolni, hátfalanként és oldalanként 2-2 tömörségmérést kell elvégezni. Minden 4. tömörítési rétegen - 1 m-es rétegenként - kell igazolni a teherbírást, hátfalanként és oldalanként 2-2 teherbírásmérést kell elvégezni. A minőségellenőrzést a jóváhagyott MMT alapján kell elvégezni.
- A háttöltés legfeljebb 30 centiméteres rétegekben, teljes szélességben készüljön el és kiváló (M-1) vagy jó (M-2) minőségű szemcsés talajból készüljön. Az alkalmazott anyagoknak jól tömöríthetőnek (T-1) kell lenniük.

4.6. Szerkezet

- A műtárgy teljes hosszon előregyártott keretelemekből készül. A választott keretelemek az e-UT 07.01.12: 2011 szerinti "A" osztályú terhelésnek megfelelnek. A betervezésnél a gyártó által megadott paramétereket betartottuk.
- A műtárgy keretelemei felett a min. 50 cm takarás biztosítva van.
- A megfelelő lejtésű és szilárdságú ágyazat elkészítése után helyezhetők el az ágyazatra a keretelemek. Az építést a folyásiránnyal szemben kell végezni. Az elemek egymás utáni beépítésekor ügyelni kell a folyásfenék folytonosságának megtartására, az egyes elemek közt szintkülönbség nem megengedett. Az alapelemek elhelyezése után megfelelő ágyazóanyaggal kell kitölteni a földmeder és a keretelemek oldalfalai közti rést. Az ágyazóanyagot az előírásoknak megfelelően kell tömöríteni. A keretelemek megfelelő be- és kivezetőoldali kapcsolatát (1:1,5 hajlású) előfejelemek beépítésével lehet biztosítani. Az egyes előfejek több elemből építhetők össze, így biztosíthatók a kivitelezőbarát elemsúlyok. A keretelemek beépítését követően gondoskodni kell a vb.szerkezet előtt és után lévő földmeder előírás szerinti hosszúságú burkolásáról – az alámosás veszélyének megakadályozása érdekében.
- Az építéshez felhasználandó:
 - 2 db FZK 3,5/3,0-VU végelem
 - 1 db FZK 3,5/3,0-VV csapos-tokos fejelem
 - 1 db FZK 3,5/3,0-VE tokos-tokos fejelem
 - 15 db FZK 3,5/3,0-1,5 általános keretelem
 - 1 db FZK 3,5/3,0-1,0 általános keretelemAz elemméretek névleges méretek.
- A lezáró fejelemek végeinél 130x40 cm az elemek szétcsúszását gátló támasztó vasbeton gerendát kell építeni.

MŰSZAKI LEÍRÁS

- A keretelemek a beépítési helyzetnek megfelelően, vízszintes, sík, megfelelően tömör felületen, az oldalfalak síkja alá elhelyezett megfelelő méretű alátétfák alkalmazásával tárolhatók. Az elemek mozgatása az oldalfalak felső peremébe épített M 24-es menetes dübelekbe tekerhető sodrony emelőfülek segítségével biztosított.

4.7. Szigetelés

- A földdel érintkező betonfelületeket kellősisítés után 2 réteg hideg bitumen mázas szigeteléssel kell ellátni.

4.8. Meder burkolása

- A kimosódás veszélye miatt a vízfolyás medrét burkolni szükséges a keretszerkezet előtt, és után összesen 11,00 – 11,00m hosszon (elő- és utófenék).
- Az keret belsejében 30,73m hosszon, továbbá a végeitől indulóan a fenéken mérve 4,00 - 4,00 m hosszon 30cm vastag RENO matracos mederstabilizálást kell készíteni.
- A RENO medermatracos szakaszok előtt és után a csatlakozó természetes medrek irányába 7,00 – 7,00 m hosszú kőszórásos medervédelem szükséges.
- Az alkalmazott vízepítés terméskövek osztálya RENO matrac esetén min. CP63/180, kőszórás esetén min. CP90/250
- A tervezett burkolatoknál a meder alapvető geometriája:
 - mederfenék szélessége: 1,50 m
 - mederfenék hosszúsága: 3,20 m/km (3,2‰)
 - oldalrészük hajlása: 1:1,5
 - mederburkolat magassága: 2,22 m [ferde hossz: 4,00 m]
- A természetes medrekhez történő csatlakozás végett a befolyási oldalon max.2,5% esés kialakításával kőszórásos mederátmenetet kell készíteni, melynek várható hossza ~22m. Kifolyási oldalon a keretszerkezet és a befogadó közötti ~400m hosszon a meder profilozása szükséges, ezen szakaszon a fenékesés 3,2‰ legyen, a fentiekben megadott geometriai méretekkel.

4.9. Egyéb tartozékok

- Az előfejek felett ~4,00 – 4,00 m hosszban két soros, hajlított (üzemi) csőkorlát létesítése szükséges

5. További általános előírások

5.1. Villámvédelem

Az e-UT 04.04.13:2020 - Közüti visszatartó rendszerek (KVR) 3.4.2. Villámvédelem pontja alapján nem szükséges villámvédelmet létesíteni a nyomvonalas műszaki létesítményeken a korlátok tekintetében.

5.2. Környezetvédelmi előírások

A tervezési terület Natura 2000 területet nem érint, nem sért természet- és tájvédelmi értékeket. Betartandó környezetvédelmi előírás: 1995. évi LIII. törvény a környezet védelmének általános szabályairól.

Levegővédelem

306/2010. (XII. 23.) Korm. rendelet a levegő védelméről; 4/2011. (I. 14.) VM rendelet a levegőterheltségi szint határértékeiről és a helyhez kötött légszennyező pontforrások kibocsátási határértékeiről; 6/2011. (I. 14.) VM rendelet a levegőterheltségi szint és a helyhez kötött légszennyező források kibocsátásának vizsgálatával, ellenőrzésével, értékelésével kapcsolatos szabályokról.

Táj és települési környezet

284/2007. (X. 29.) Korm. rendelet a környezeti zaj és rezgés elleni védelem egyes szabályairól; 27/2008. (XII. 3.) KvVM-EüM együttes rendelet a környezeti zaj- és rezgésterhelési határértékek megállapításáról; 2001. évi LXIV. törvény a kulturális örökség védelméről; 68/2018. (IV. 9.) Korm. rendelet a kulturális örökség védelmével kapcsolatos szabályokról.

Élővilág, természeti értékek

1996. évi LIII. törvény a természet védelméről.

Felszín alatti víz

219/2004. (VII. 21.) Korm. rendelet a felszín alatti vizek védelméről; 6/2009. (IV. 14.) KvVM-EüM-FVM együttes rendelet a földtani közeg és a felszín alatti vízszennyezéssel szembeni védelméhez szükséges határértékekről és a szennyezések méréséről; 23/1997. (VII. 18.) Korm. rendelet a vízbázisok, a távlati vízbázisok, valamint az ivóvízellátást szolgáló vízellátási létesítmények védelméről; 28/2004. (XII. 25.) KvVM rendelet a vízszennyező anyagok kibocsátásaira vonatkozó határértékekről és alkalmazásuk egyes szabályairól.

Felszíni vizek

220/2004. (VII. 21.) Korm. rendelet a felszíni vizek minősége védelmének szabályairól; 10/2010. (VIII. 18.) VM rendelet a felszíni víz vízszennyezettségi határértékeiről és azok alkalmazásának szabályairól.

Föld, talaj

6/2009. (IV. 14.) KvVM-EüM-FVM együttes rendelet a földtani közeg és a felszín alatti víz szennyezéssel szembeni védelméhez szükséges határértékekről és a szennyezések méréséről.

Hulladék

2012. évi CLXXXV. törvény a hulladékról; 72/2013. (VIII. 27.) VM rendelet a hulladékjegyzékről; 225/2015. (VIII. 7.) Korm. rendelet a veszélyes hulladékkal kapcsolatos

MŰSZAKI LEÍRÁS

egyes tevékenységek részletes szabályairól; 246/2014. (IX. 29.) Korm. rendelet az egyes hulladékgazdálkodási létesítmények kialakításának és üzemeltetésének szabályairól; 309/2014. (XII. 11.) Korm. rendelet a hulladékkal kapcsolatos nyilvántartási és adatszolgáltatási kötelezettségekről; 45/2004. (VII. 26.) BM-KvVM együttes rendelet az építési és bontási hulladék kezelésének részletes szabályairól; 191/2009. (IX. 15.) Korm. rendelet az építőipari kivitelezési tevékenységről.

Havária

90/2007. (IV. 26.) Korm. rendelet a környezetkárosodás megelőzésének és elhárításának rendjéről.

5.3. Tűzvédelmi előírások

A műtárgynak használatbavétel után tűzvédelmi vonatkozásai nincsenek. A műtárgy elkészülte után nagyon alacsony kockázati osztályba (NAK) sorolható, létesítésének tűzvédelmi vonatkozásai nincsenek. Az alkalmazott műszaki megoldások eleget tesznek a tűzvédelmi követelmények kielégítésére vonatkozó rendelkezéseknek.

Kivitelezés során betartandó tűzvédelmi előírások:

- 1996. évi XXXI. törvény a tűz elleni védekezésről, a műszaki mentésről és a tűzoltóságról
- 191/2009. (IX. 15.) Korm. rendelet az építőipari kivitelezési tevékenységről, az építési naplóról és a kivitelezési dokumentáció tartalmáról.
- 54/2014. (XII. 5.) BM rendelettel kiadott Országos Tűzvédelmi Szabályzat.

5.4. Munkavédelmi előírások

A terv a hatályos munkavédelmi előírásoknak és szabványoknak megfelel. Az érvényben lévő munkavédelmi és baleset-megelőzési, tűzvédelmi előírásokat szigorúan be kell tartani. A felhasználásra kerülő műgyanta alapú anyagokkal és technológiával kapcsolatos munkavédelmi előírásokat és a használandó védőeszközöket a gyártmány felhasználói utasítása szerint figyelembe kell venni.

A betartandó munkavédelmi előírásokat a dolgozókkal ismertetni kell.

A kivitelezést csak az ilyen munkára is felkészült vállalat végezheti, megfelelő szakképzettséggel rendelkező dolgozókkal.

Az építő vállalat a saját hatáskörében kialakított általános munkavédelmi és balesetelhárítási előírásokat betartani köteles.

Az vb. szerkezetnek használatbavétel után munkavédelmi vonatkozásai nincsenek.

A tervezés időpontjában hatályos munkavédelmi előírások

1993. évi XCIII. törvény a munkavédelemről.

5/1993. (XII. 26.) MüM rendelet a munkavédelemről szóló 1993. évi XCIII. törvény egyes rendelkezéseinek végrehajtásáról.

2/1998. (I. 16.) MüM rendelet a munkahelyen alkalmazandó biztonsági és egészségvédelmi jelzésekről.

25/1998. (XII. 27.) EüM rendelet az elsősorban hátsérülések kockázatával járó kézi tehermozgatás minimális egészségi és biztonsági követelményeiről.

33/1998. (VI. 24.) NM rendelet a munkaköri, szakmai, illetve személyi higiénés alkalmasság orvosi vizsgálatáról és véleményezéséről.

MŰSZAKI LEÍRÁS

47/1999. (VIII. 4.) GM rendelet az Emelőgép Biztonsági Szabályzat kiadásáról.
50/1999. (XI. 3.) EüM rendelet a képernyő előtti munkavégzés minimális egészségügyi és biztonsági követelményeiről.
65/1999. (XII. 22.) EüM rendelet a munkavállalók munkahelyen történő egyéni védőeszköz használatának minimális biztonsági és egészségvédelmi követelményeiről.
2000. évi XXV. törvény a kémiai biztonságról.
41/2000. (XII. 20.) EüM-KöM együttes rendelet az egyes veszélyes anyagokkal, illetve veszélyes készítményekkel kapcsolatos egyes tevékenységek korlátozásáról.
44/2000. (XII. 27.) EüM rendelet a veszélyes anyagokkal és a veszélyes készítményekkel kapcsolatos egyes eljárások, illetve tevékenységek részletes szabályairól.
3/2002. (II.8.) SzCsM-EüM együttes rendelet a munkahelyek munkavédelmi követelményeinek minimális szintjéről.
4/2002. (II.20.) SzCsM-EüM együttes rendelet az építési munkahelyeken és az építési folyamatok során megvalósítandó minimális munkavédelmi követelményekről.
143/2004. (XII. 22.) GKM rendelet a Hegesztési Biztonsági Szabályzat kiadásáról.
22/2005. (VI. 24.) EüM rendelet a rezgésexpozíciónak kitett munkavállalókra vonatkozó minimális egészségi és munkabiztonsági követelményekről.
66/2005. (XII. 22.) EüM rendelet a munkavállalókat érő zajexpozícióra vonatkozó minimális egészségi és biztonsági követelményekről.
93/2007 (XII. 18.) KvVM rendelet a zajkibocsátási határértékek megállapításának, valamint a zaj- és rezgésekibocsátás ellenőrzésének módjáról.
284/2007. (X. 29.) Korm. rendelet a környezeti zaj és rezgés elleni védelem egyes szabályairól.
16/2008. (VIII.30) NFGM rendelet a gépek biztonsági követelményeiről és megfelelőségének tanúsításáról.
18/2008. (XII. 3.) SZMM rendelet az egyéni védőeszközök követelményeiről és megfelelőségének tanúsításáról.
191/2009. (IX. 15.) Korm. rendelet az építőipari kivitelezési tevékenységről
219/2011. (X. 20.) Korm. rendelet a veszélyes anyagokkal kapcsolatos súlyos balesetek elleni védekezésről.
57/2013. (II. 27.) Korm. rendelet a telepengedély, illetve a telep létesítésének bejelentése alapján gyakorolható egyes termelő és egyes szolgáltató tevékenységekről, valamint a telepengedélyezés rendjéről és a bejelentés szabályairól
54/2014. (XII. 5.) BM rendelettel kiadott Országos Tűzvédelmi Szabályzat.
10/2016. (IV. 5.) NGM rendelet a munkaeszközök és használatuk biztonsági és egészségügyi követelményeinek minimális szintjéről.

Mellékletek

- HIDRAULIKAI ELLENŐRZÉS
- STATIKAI SZÁMÍTÁS

Pétervására Ipari Park feltáró út. Tó-patak közúti híd hidraulikai méretezése.

1. Tó-patak 0 + 424 km szelvényébe tervezett L= 3,60 m fesztávolságú közúti híd.

1.1. Beépítés előtti meder jellemzői:

Adatok:

$$Q_{1\%} = 11 \text{ m}^3/\text{s}$$

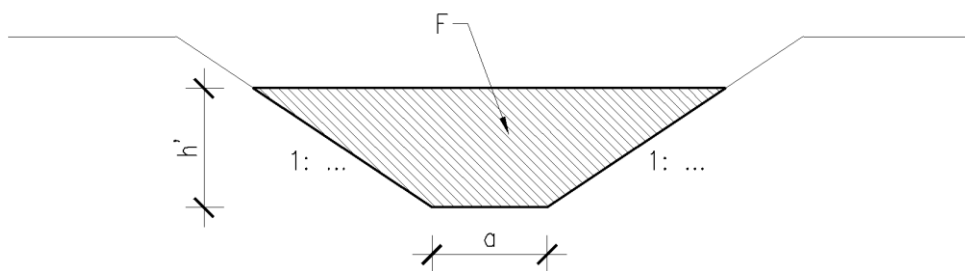
$$I = 3,2 \text{ m/km}$$

$$a = 1,50 \text{ m}$$

$$\rho = 1 : 1,5$$

$$n = 2,7 \times 10^{-2}; k = 1/n = 37,04$$

$$\text{felvett vízmélység: } h' = 1,55 \text{ m}$$



Számítás:

$$F = \rho h^2 + ah$$

$$F = 1,5 \times 1,55^2 \text{ m}^2 + 1,50 \text{ m} \times 1,55 \text{ m} = \mathbf{5,92875 \text{ m}^2}$$

$$P = 2h \times (1 + \rho^2)^{1/2} + a$$

$$P = 2 \times 1,55 \text{ m} \times (1 + 1,5^2)^{1/2} + 1,50 \text{ m} = 7,0886 \text{ m}$$

$$R = F/P$$

$$R = 5,92875 \text{ m}^2 / 7,0886 \text{ m} = \mathbf{0,83669 \text{ m}}$$

$$c = 1/n \times R^{1/6}$$

$$c = 1/2,7 \times 10^{-2} \times 0,83669^{1/6} = 35,9554$$

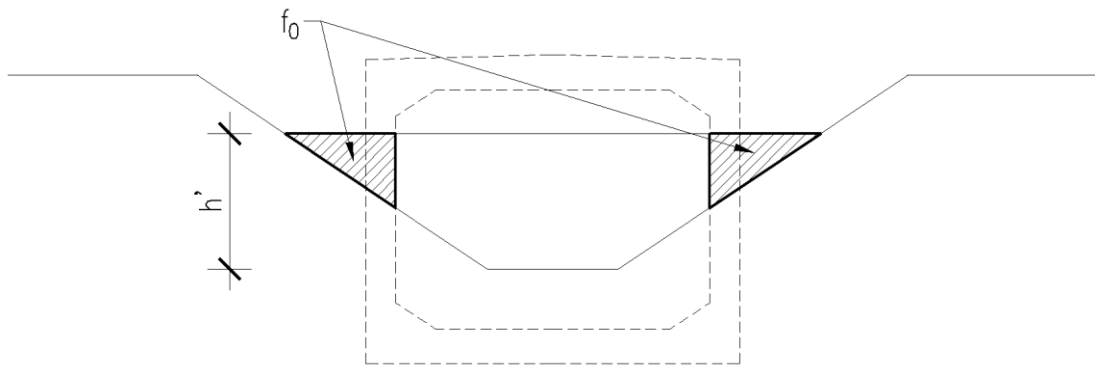
$$v_k = c \times (R \times I)^{1/2}$$

$$v_k = 35,9554 \times (0,83669 \times 3,2 \times 10^{-3})^{1/2} = \mathbf{1,89 \text{ m/s}}$$

$$Q = F \times v_k$$

$$\mathbf{Q = 5,92875 \text{ m}^2 \times 1,89 \text{ m/s} = 11,23 \text{ m}^3/\text{s}}$$

1.2. 3,60 m x 3,00 m bel méretű előre gyártott keretelem beépítése:



Mederszűkítés: $f_0 = 2 \times (1,275 \text{ m} \times 0,85 \text{ m})/2 = 1,08375 \text{ m}^2$

Mederszűkítési viszony: $\alpha = 1,08375 \text{ m}^2/5,92875 \text{ m}^2 = 0,20496 \sim \mathbf{0,205}$

Mozgásállapot jellemző: $\omega = v_k^2/(2gh)$
 $\omega = 1,89^2 \text{ m}^2/\text{s}^2/(19,62 \text{ m/s}^2 \times 1,55 \text{ m}) = \mathbf{0,1175}$

Határ mozgásállapot jellemző: $\omega_H = 1/(2,5 + 5 \times \alpha) - 0,18$
 $\omega_H = 1/(2,5 + 5 \times 0,205) - 0,18 = \mathbf{0,1037}$

Feltételek:

Ha $\alpha < 5 \times 10^{-2}$ akkor $\Delta h \sim 0$

Ha $\alpha < 0,35$ és $\omega < \omega_H$, a második feltétel nem teljesül!

Ha $\omega > \omega_H$ esetünkben $\omega = 0,1175 > \omega_H = 0,1037$ Az egyenlőtlenségeknek megfelelően a számítást el kell végezni a *Rehbock* és a *Bradley* formulával is!

1.2.1. Duzzasztás számítás Rehbock formulával:

$$\Delta h = (3,9 - 2,9 \times \alpha)(0,4 \times \alpha + \alpha^2 + 9 \times \alpha^4)(1 + 2 \times \omega)h\omega$$

$$\Delta h = (3,9 - 2,9 \times 0,205 + 0,205^2 + 9 \times 0,205^4)(1 + 2 \times 0,1175) \times 1,55 \text{ m} \times 0,1175$$

$$\Delta h = \mathbf{0,10 \text{ m} = 10 \text{ cm}}$$

$$\Delta h = 10 \text{ cm} \geq h_{\max} = 10 \text{ cm}$$

1.2.2. Duzzasztás számítás Bradley formulával:

Felvett duzzasztás mértéke: $\Delta h' = 6 \times 10^{-2} \text{ m}$

A duzzasztás nedvesített szelvénye: $f_d = 6 \times 10^{-2} \times (6,33 \text{ m} + 6,15 \text{ m})/2 = \mathbf{0,3744 \text{ m}^2}$

$$\beta = f_d/F$$

$$\beta = 0,3744 \text{ m}^2/5,92875 \text{ m}^2 = \mathbf{6,315}$$

$$\Delta h = (0,5 + 5 \times 10^{-2}/\alpha)[1 + (0,76\alpha + 6,16 \alpha^2 - 7,47 \alpha^4)/(1 + \alpha)^2 - 1/(1 + \beta)^2]h\omega$$

$$\Delta h = 0,7439 \times 0,3628 \times 0,1821 \text{ m} = \mathbf{5,61 \times 10^{-2} \text{ m} = 5,61 \text{ cm}}$$

$$\Delta h = \mathbf{5,61 \text{ cm} < h_{\max} = 5,61 \text{ cm}}$$

A műtárgy duzzasztásra megfelel.

1.3. A műtárgy hatására kialakuló sebesség változás vizsgálata:

$$f_d = (h + \Delta h) \times L$$

$$f_d = (1,55 \text{ m} + 5,6 \times 10^{-2} \text{ m}) \times 3,60 \text{ m} = \mathbf{5,78196 \text{ m}^2}$$

$$v_d = Q/f_d$$

$$v_d = 11,23 \text{ m}^3/\text{s} / 5,78196 \text{ m}^2 = \mathbf{1,942 \text{ m/s}}$$

$$\Delta = 100 \times (1,942 \text{ m/s} / 1,89 \text{ m/s}) = \mathbf{102,76\% \sim 102,8\%}$$

A műtárgy hatására kialakuló sebesség növekedés: **2,8% < 10%**

A műtárgy a kialakuló sebességre is megfelel!

Szentendre, 2026. május 28.

Tervező: Balogh Mónika
VZ-TEL, VZ-TER, VZ-VG
MMK 12-0283

Makai Tamás
HT
MMK 12-0366

Külső szakértő: Petre Lajos
SZVV-3.5.
MMK 12-0145

FERROBETON BETON- ÉS VASBETONELEM-GYÁRTÓ ZRT.

H-2400 Dunaújváros, Papírgyári út 18-22. Tel.: (25) 284-444 Fax.: (25) 283-303

ERŐTANI SZÁMÍTÁS

az FZK-3,5/3,0 jelű közúti keret
előregyártott vasbeton keretelemeihez

Készítette: **Dr. Kovács Tamás**
okl. építőmérnök
HT 13-9244

TARTALOMJEGYZÉK

1. KIINDULÁSI ADATOK
 - 1.1. Szerkezeti kialakítás, statikai váz
 - 1.2. Felhasznált szabványok
 - 1.3. Anyagjellemzők
 - 1.3.1. Karakterisztikus és várható értékek
 - 1.3.2. Tervezési értékek
 - 1.3.3. Környezeti osztály
2. TERHEK ÉS HATÁSOK
 - 2.1. Állandó terhek
 - 2.1.1. Önsúly
 - 2.1.2. Földnyomás
 - 2.2. Esetleges terhek
 - 2.2.1. Forgalmi teher a felső lemezen
 - 2.2.2. Földnyomás az oldalfalon forgalmi teherből
 - 2.2.3. Hőmérséklet-változás
 - 2.3. Rendkívüli terhek
3. MEREVSÉGEK ÉS KERESZTMETSZETI JELLEMZŐK
 - 3.1. Merevségi arányok
 - 3.2. Ágyazási tényező
 - 3.2.1. Rugalmas ágyazás az alapsíkon
 - 3.2.2. Rugalmas ágyazás az oldalfalakon
4. IGÉNYBEVÉTELEK
 - 4.1. Hajlítónyomatékok
 - 4.2. Nyíróerők
5. A HATÁRÁLLAPOTOK IGAZOLÁSA
 - 5.1. Felső lemez
 - 5.1.1. Hajlítási teherbírás vizsgálata
 - 5.1.2. Nyírási teherbírás vizsgálata
 - 5.1.3. Repedéstágasság ellenőrzése
 - 5.1.4. Lehajlás ellenőrzése
 - 5.2. Oldalfal
 - 5.2.1. Hajlítási teherbírás vizsgálata
 - 5.2.2. Nyírási teherbírás vizsgálata
 - 5.2.3. Repedéstágasság ellenőrzése
 - 5.3. Alsó lemez
 - 5.3.1. Hajlítási teherbírás vizsgálata
 - 5.3.2. Nyírási teherbírás vizsgálata
 - 5.3.3. Repedéstágasság ellenőrzése

1. KIINDULÁSI ADATOK

Jelen erőtani számítás az FZK-3,5/3,0 j., 3,5×3,0 m névleges belső méretekkel rendelkező, közúti töltésben épülő előregyártott, zárt vasbeton keretek gyártányterveihez készül.

A termék szokásos közúti forgalmat viselő földműbe épített műtárgy. A termék ismertetését, tervezési, gyártási és beépítési adatait a termék műszaki leírása tartalmazza.

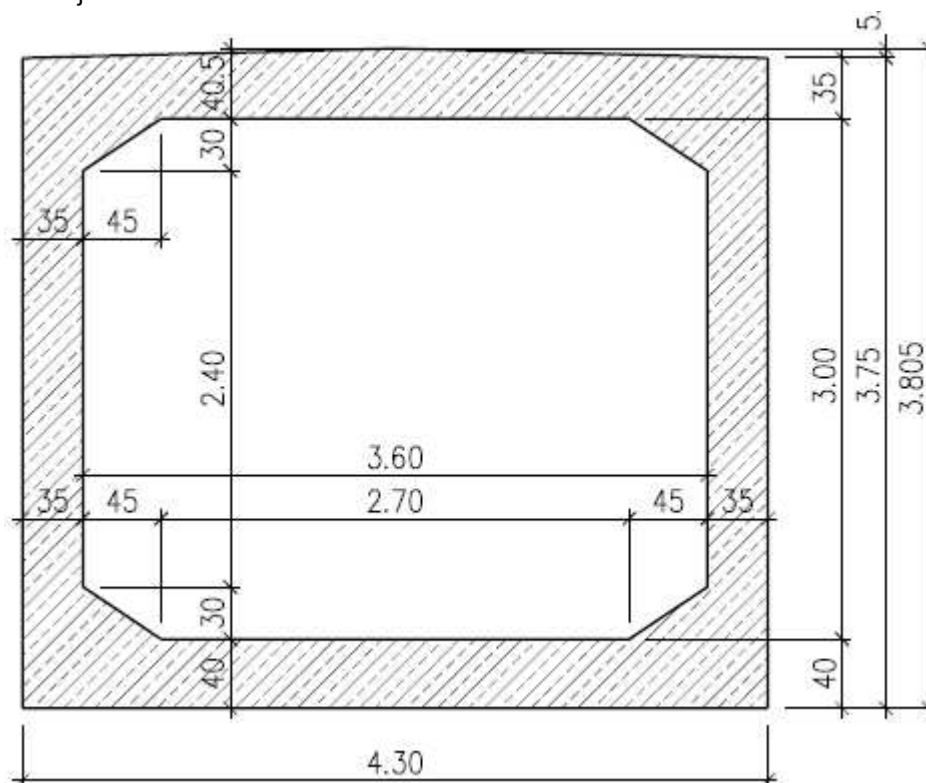
Az erőtani számítás a hatályos Eurocode szabványok alapján készül.

1.1. Szerkezeti kialakítás, statikai váz

A földmű műtárgy felett átvezetett, közúti útpályaszerkezetet is magába foglaló részének vastagsága 0,50 m és 4,0 m között változhat. Jelen számítás az átvezetett földművastagság e két szélső értékének figyelembevételével készül.

A keret hosszúsága, így az útpályaszélesség nincs korlátozva. A számítás minden esetben a legkedvezőtlenebb névleges forgalmi sávbeosztás feltételezésével készül.

A vizsgált keret felületelemekből felépülő modelljének hosszúsága 1,5 m. A keretelem keresztmetszetét és fő méreteit a következő ábra mutatja:



Fő geometriai adatok:

Keresztmetszet	szélessége:	$B := 4.3\text{m}$	(külméret)
		$b := 3.6\text{m}$	(belméret)
	magassága:	$H := 3.805\text{m}$	(külméret)
		$h := 3.0\text{m}$	(belméret)
Falvastagságok:	alsó lemez:	$v_{al} := 40\text{cm}$	
	felső lemez:	$v_{fl} := 40.5\text{cm}$	(max. érték középen)
	oldalfalak:	$v_f := 35\text{cm}$	
kiékelés	szélessége:	$b_{ék} := 0.45\text{m}$	
	magassága:	$h_{ék} := 0.30\text{m}$	
Útpályaszerkezet vastagsága:		$h_{út} := 0.40\text{m}$	
Átvezetett földmű vastagsága:		$h_{f.min} := 0.50\text{m}$	
		$h_{f.max} := 4.0\text{m}$	

1.2. Felhasznált szabványok

MSZ EN 1990:2005	A tartószerkezetek tervezésének alapjai
MSZ EN 1990/A1:2008	A tartószerkezetek tervezésének alapjai. Hidakra vonatkozó szabályok
MSZ EN 1991-1-5:2005	A tartószerkezetek tervezésének alapjai. Hőmérsékleti hatások
MSZ EN 1991-2:2006	A tartószerkezeteket érő hatások. Hidak forgalmi terhei
MSZ EN 1992-1-1:2010	Betonszerkezetek tervezése. Általános elvek és az épületekre vonatkozó szabályok
MSZ EN 1992-2:2009	Betonszerkezetek tervezése. Betonhidak. Tervezési és szerkesztési szabályok
MSZ EN 1992-3:2006	Betonszerkezetek tervezése. Folyadéktartályok és tárolószerkezetek
MSZ EN 1997-1:2006	Geotechnikai tervezés. Általános szabályok

1.3. Anyagjellemzők

1.3.1. Karakterisztikus és várható értékek

- Beton: C40/50**

Nyomószilárdság karakterisztikus értéke: $f_{ck,40} := 40 \cdot \frac{N}{mm^2}$ (150/300 hengeren mérve)

Nyomószilárdság karakterisztikus értéke: $f_{ck,cube,40} := 50 \cdot \frac{N}{mm^2}$ (150×150×150 kockán mérve)

Nyomószilárdság várható értéke: $f_{cm,40} := f_{ck,40} + 8 \cdot \frac{N}{mm^2}$ $f_{cm,40} = 48 \cdot \frac{N}{mm^2}$

Húzószilárdság várható értéke: $f_{ctm,40} := 0.3 \left(f_{ck,40} \cdot \frac{mm^2}{N} \right)^{0.667} \cdot \frac{N}{mm^2}$ $f_{ctm,40} = 3.5 \cdot \frac{N}{mm^2}$

Húzószilárdság 5%-os karakterisztikus értéke: $f_{ctk0.05,40} := 0.7 \cdot f_{ctm,40}$ $f_{ctk0.05,40} = 2.5 \cdot \frac{N}{mm^2}$

Rugalmassági modulus: $E_{cm,40} := 22000 \left(\frac{f_{cm,40} \cdot mm^2}{10 \cdot N} \right)^{0.3} \cdot \frac{N}{mm^2}$ $E_{cm,40} = 35220 \cdot \frac{N}{mm^2}$

Rugalmas-képlékeny zóna határa: $\epsilon_{c3,40} := 0.00175$ $\epsilon_{c3,40} = 0.175 \cdot \%$

Törési összenyomódás: $\epsilon_{cu3,40} := 0.0035$ $\epsilon_{cu3,40} = 0.35 \cdot \%$

- Betonacél: B500B**

Húzószilárdság karakterisztikus értéke: $f_{yk} := 500 \cdot \frac{N}{mm^2}$

Rugalmassági modulus: $E_s := 200000 \cdot \frac{N}{mm^2}$

A legnagyobb erőhöz tartozó nyúlás karakterisztikus értéke: $\epsilon_{s,uk} := 2.5\%$

1.3.2. Tervezési értékek

- Anyagi parciális tényezők

Tartós és ideiglenes tervezési állapotban:

Rendkívüli tervezési állapotban:

Beton: $\gamma_c := 1.5$

Beton: $\gamma_{c,acc} := 1.2$

Betonacél és feszítőacél: $\gamma_s := 1.15$

Betonacél: $\gamma_{s,acc} := 1.0$

- Aszilárdságok tervezési értékei

Tartós és ideiglenes tervezési állapotban

Beton

$$\text{Nyomószilárdság tervezési értéke: } f_{cd.40} := 0.85 \frac{f_{ck.40}}{\gamma_c} \quad f_{cd.40} = 22.7 \cdot \frac{N}{mm^2}$$

$$\text{Húzószilárdság tervezési értéke: } f_{ctd.40} := 1.0 \frac{f_{ctk0.05.40}}{\gamma_c} \quad f_{ctd.40} = 1.6 \cdot \frac{N}{mm^2}$$

Betonacél

$$\text{Húzószilárdság tervezési értéke } f_{yd} := \frac{f_{yk}}{\gamma_s} \quad f_{yd} = 435 \cdot \frac{N}{mm^2}$$

Rendkívüli tervezési állapotban**Beton**

$$\text{Nyomószilárdság tervezési értéke: } f_{cd.40.acc} := 0.85 \frac{f_{ck.40}}{\gamma_{c.acc}} \quad f_{cd.40.acc} = 28.3 \cdot \frac{N}{mm^2}$$

$$\text{Húzószilárdság tervezési értéke: } f_{ctd.40.acc} := 1.0 \frac{f_{ctk0.05.40}}{\gamma_{c.acc}} \quad f_{ctd.40.acc} = 2.0 \cdot \frac{N}{mm^2}$$

Betonacél

$$\text{Húzószilárdság tervezési értéke } f_{yd.acc} := \frac{f_{yk}}{\gamma_{s.acc}} \quad f_{yd.acc} = 500 \cdot \frac{N}{mm^2}$$

1.3.3. Környezeti osztály• Környezeti osztály

Környezeti hatás leírása:

- váltakozva nedves és száraz (páratartalom-ingadozás)
- kloridtartalmú vizekkel érintkező felületek
- fagyhatás
- talajjal való közvetlen érintkezés

Figyelembe vett környezeti osztályok: XC4, XD2, XF3, XA1

• Minimális betonfedés

Alkalmazott betonfedés:

$$\text{betonacélon: } c_s := 40\text{mm}$$

A betonacélok megfelelő lehorgonyzódása miatt szükséges betonfedés:

$$\text{betonacélon: } c_{\min.b.s} := 14\text{mm}$$

A tartósság miatt szükséges betonfedés (S3 szerk. osztály):

$$\text{betonacélon: } c_{\min.d.s} := 35\text{mm}$$

Minimális betonfedés:

$$\text{betonacélon: } c_{\min.s} := \max(c_{\min.b.s}, c_{\min.d.s}) \quad \boxed{c_{\min.s} = 35 \cdot \text{mm}} \leq c_s = 40 \cdot \text{mm} \quad \text{OK}$$

2. TERHEK ÉS HATÁSOK**2.1. Állandó terhek**

Aparciális tényezőket az MSZ EN 1990 és az MSZ EN 1997-1 szerint alkalmazzuk.

$$\text{Állandó hatásból számított igénybevételek parciális tényezője: } \gamma_{G.sup} := 1.35$$

$$\text{A kedvezőtlen értelmű parciális tényezőhöz tartozó redukciós tényező: } \xi := 0.85$$

2.1.1. Önsúly• Keretelem önsúlya

A folyómétersúlyt 25 kN/m^3 térfogatsúly figyelembevételével számítjuk.

Keretelem km-i területe:

$$A_{FZK} := B \cdot H - b \cdot h + 4 \cdot \frac{b_{ék} \cdot h_{ék}}{2} = 5.83 \cdot \text{m}^2$$

Folyómétersúly:

$$g_{FZK} := 25 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} \cdot A_{FZK} = 145.8 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Modellbeli szélességre fajlagosítva:

$$r_{FZK} := \frac{g_{FZK}}{B - v_f} = 36.9 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

- Útpályaszerkezet önsúlya

Útpályaszerkezet:

térfogatsúlya: $\gamma_{út} := 23 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$

önsúlya (10 cm vastagítással):

$$g_{út} := (h_{út} + 10 \text{ cm}) \cdot \gamma_{út} = 11.5 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

2.1.2. Földnyomás

A földmû súlyából származó, mûtárgy körüli földnyomást töltésállapot alapján, nyugalmi nyomás feltételezésével számítjuk.

Háttöltés és földmû

térfogatsúlya: $\gamma_t := 18 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$

súrlódási szöge: $\phi_t := 35 \text{ fok}$

Nyugalmi nyomás tényezője: $K_0 := 1 - \sin(\phi_t) = 0.43$

Földteher-tényező értékei
különböző $f = h_f/B$ értékekhez: $f^T = (0.00 \quad 0.25 \quad 0.50 \quad 0.75 \quad 1.00 \quad 2.00 \quad 3.00 \quad 4.00)$

$$\alpha_{f0}^T = (1.00 \quad 1.08 \quad 1.17 \quad 1.25 \quad 1.32 \quad 1.51 \quad 1.50 \quad 1.40)$$

A háttöltés és a mûtárgy
oldalfalai közötti súrlódás: $\delta_f := \frac{\phi_t}{2} = 17.5 \cdot \text{fok} \quad (\text{számottevő rezgések esetén})$

- Átvezetett $h_{f,\min}$ földmû+útpályaszerkezet vastagság esetén

A mûtárgy felett átvezetett földmû+útpályaszerkezet vastagsága:

$$h_f := h_{f,\min} = 0.50 \text{ m}$$

Földmû vastagsága a mûtárgy felett:

$$h_t := h_f - h_{út} = 0.10 \text{ m}$$

Függőleges nyomás a földmû súlyából

a mûtárgy felső síkjánál:

$$g_{ff} := g_{út} + h_t \cdot \gamma_t = 13.3 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

a mûtárgy alsó síkjánál:

$$g_{fa} := g_{út} + (h_t + H) \cdot \gamma_t = 81.8 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Földteher-tényező:

$$\text{beágyazottság mértéke: } \frac{h_f}{B} = 0.12$$

földteher-tényező:

$$\alpha_f := \text{linterp} \left(f, \alpha_{f0}, \frac{h_f}{B} \right) = 1.04$$

Földnyomások

a műtárgy felső síkján:

$$p_{\min.f} := g_{ff} \cdot \alpha_f$$

$$p_{\min.f} = 13.8 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

a műtárgy alsó síkján:

$$p_{\min.a} := g_{ff} \cdot \alpha_f \cdot \left[1 + \left(\frac{H}{h_f} \right)^2 \cdot \frac{\alpha_f - 1}{\alpha_f} \right] = 42.5 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

a műtárgy oldalfalain:

$$\text{felül: } p_{\min.of} := g_{ff} \cdot K_0$$

$$p_{\min.of} = 5.7 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$\text{alul: } p_{\min.oa} := g_{fa} \cdot K_0$$

$$p_{\min.oa} = 34.9 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Súrlódás a műtárgy oldalfalain:

$$\text{átlag: } s_{\min.o} := (p_{\min.a} - p_{\min.f}) \cdot \frac{B}{2H}$$

$$s_{\min.o} = 16.2 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

• **Átvezetett $h_{f,\max}$ földmű+útpályaszerkezet vastagság esetén**

A műtárgy felett átvezetett földmű+útpályaszerkezet vastagsága:

$$h_f := h_{f,\max} = 4.00 \text{ m}$$

Földmű vastagsága a műtárgy felett:

$$h_t := h_f - h_{út} = 3.60 \text{ m}$$

Függőleges nyomás a földmű súlyából

a műtárgy felső síkjánál:

$$g_{ff} := g_{út} + h_t \cdot \gamma_t = 76.3 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

a műtárgy alsó síkjánál:

$$g_{fa} := g_{út} + (h_t + H) \cdot \gamma_t = 144.8 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Földteher-tényező:

$$\text{beágyazottság mértéke: } \frac{h_f}{B} = 0.93$$

földteher-tényező:

$$\alpha_f := \text{linterp} \left(f, \alpha_{f0}, \frac{h_f}{B} \right) = 1.30$$

Földnyomások

a műtárgy felső síkján:

$$p_{\max.f} := g_{ff} \cdot \alpha_f$$

$$p_{\max.f} = 99.2 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

a műtárgy alsó síkján:

$$p_{\max.a} := g_{ff} \cdot \alpha_f \cdot \left[1 + \left(\frac{H}{h_f} \right)^2 \cdot \frac{\alpha_f - 1}{\alpha_f} \right] = 120.0 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

a műtárgy oldalfalain:

felül: $p_{\max.of} := g_{ff} \cdot K_0$

$$p_{\max.of} = 32.5 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

alul: $p_{\max.oa} := g_{fa} \cdot K_0$

$$p_{\max.oa} = 61.7 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Súrlódás a műtárgy oldalfalain:

átlag: $s_{\max.o} := (p_{\max.a} - p_{\max.f}) \cdot \frac{B}{2H}$

$$s_{\max.o} = 11.7 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

2.2. Esetleges terhek

Esetleges teherként forgalmi terhet és az abból származó földnyomást vesszük figyelembe. Azt feltételezzük, hogy a forgalmi teherből származó vízszintes erőket az útpályaszerkezet és a földmű együttesen viselik, így azok a műtárgyat nem terhelik.

2.2.1. Forgalmi teher a felső lemezen

Forgalmi teherként az 1. tehermodellt (LM1) tartalmazó gr1a forgalmi tehercsoportot vesszük figyelembe, melynek íkertengelyeit (TS) az útpálya felső síkján 3,0×2,2 m területű téglalapon egyenletesen megoszlónak tekintjük.

Az útpálya szintje alatt a teher függőleges menti, vízszintes irányú szétterjedési szögét a függőlegestől mérve 30°-osnak tekintjük.

Az úttengelyre merőlegesen a forgalmi sávok száma nincs korlátozva.

Forgalmi teher parciális tényezője: $\gamma_Q := 1.35$

Kombinációs tényezők: $\psi_{0.Q} := 0.75$ $\psi_{1.Q} := 0.75$ $\psi_{2.Q} := 0.0$

Forgalmi sávok szélessége: $b_{\text{sáv}} := 3.0\text{m}$

- Terhelési osztály**

Figyelembe vett terhelési osztály: I.+ terhelési osztály

Terhelési osztályba sorolási tényezők:

járműteherre: $\alpha_{Q_1} := 1.0$

megoszló teherre: $\alpha_{q_1} := 1.0$ $\alpha_{qr} := 1.0$

- 1. tehermodell**

Járműteher (TS)

Tengelysúlyok:

Összsúly:

1. sz. sávra: $Q_{k_1} = 300 \cdot \text{kN}$

2. sz. sávra: $Q_{k_2} = 200 \cdot \text{kN}$

3. sz. sávra: $Q_{k_3} = 100 \cdot \text{kN}$

$$Q := 2 \cdot \left(\sum_{i=1}^3 Q_{k_i} \right) = 1200 \cdot \text{kN}$$

Megoszlási terület méretei:

- útpályán:

szélesség: $b_{eq} := b_{sáv} = 3.0 \text{ m}$ hosszúság: $l_{eq} := 2.2 \text{ m}$

- $h_{f,min}$ földmû+útpályaszerkezet vastagság esetén:

a műtárgy felső síkja magasságában:

$$\text{úttengely-irányban: } l_{eq,min,f} := l_{eq} + 2h_{f,min} \cdot \tan(30\text{deg}) = 2.78 \text{ m} < B - v_f = 3.95 \text{ m}$$

$$\text{úttengelyre merőlegesen: } b_{eq,min,f} := b_{eq} + 2h_{f,min} \cdot \tan(30\text{deg}) = 3.58 \text{ m}$$

$$\text{kontroll: } b_{sáv} - (b_{eq,min,f} - b_{sáv}) = 2.42 \text{ m} > 0, \text{ ezért a 2. és a 3. sáv terhe között keresztirányban nincs áthatás}$$

a műtárgy alsó síkja magasságában:

$$\text{úttengely-irányban: } l_{eq,min,a} := l_{eq} + 2(h_{f,min} + H) \cdot \tan(30\text{deg}) = 7.17 \text{ m}$$

$$\text{úttengelyre merőlegesen: } b_{eq,min,a} := b_{eq} + 2(h_{f,min} + H) \cdot \tan(30\text{deg}) = 7.97 \text{ m}$$

$$\text{kontroll: } b_{sáv} - (b_{eq,min,a} - b_{sáv}) = -1.97 \text{ m} < 0, \text{ ezért a 2. és a 3. sáv terhe között keresztirányban áthatás van}$$

- $h_{f,max}$ földmû+útpályaszerkezet esetén:

a műtárgy felső síkja magasságában:

$$\text{úttengely-irányban: } l_{eq,max,f} := l_{eq} + 2h_{f,max} \cdot \tan(30\text{deg}) = 6.82 \text{ m}$$

$$\text{úttengelyre merőlegesen: } b_{eq,max,f} := b_{eq} + 2h_{f,max} \cdot \tan(30\text{deg}) = 7.62 \text{ m}$$

$$\text{kontroll: } b_{sáv} - (b_{eq,max,f} - b_{sáv}) = -1.62 \text{ m} < 0, \text{ ezért a 2. és a 3. sáv terhe között keresztirányban áthatás van}$$

a műtárgy alsó síkja magasságában:

$$\text{úttengely-irányban: } l_{eq,max,a} := l_{eq} + 2(h_{f,max} + H) \cdot \tan(30\text{deg}) = 11.21 \text{ m}$$

$$\text{úttengelyre merőlegesen: } b_{eq,max,a} := b_{eq} + 2(h_{f,max} + H) \cdot \tan(30\text{deg}) = 12.01 \text{ m}$$

Helyettesítő megoszló teher:

- útpályán:

$$q_{eq,l} := \frac{2Q_{k,l}}{b_{eq} \cdot l_{eq}} \quad \text{sávonként: } q_{eq,1} = 90.9 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \quad q_{eq,2} = 60.6 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \quad q_{eq,3} = 30.3 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

- a műtárgy felső síkján:

$h_{f,min}$ földmû+útpályaszerkezet vastagság esetén:

$$q_{eq,min,f,l} := \frac{2Q_{k,l}}{l_{eq,min,f} \cdot b_{eq,min,f}}$$

$$\text{sávonként: } q_{eq,min,f,1} = 60.4 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \quad q_{eq,min,f,2} = 40.3 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \quad q_{eq,min,f,3} = 20.1 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$h_{f,max}$ földmû+útpályaszerkezet vastagság esetén:

$$q_{eq,max,f,l} := \frac{2Q_{k,l}}{l_{eq,max,f} \cdot b_{eq,max,f}}$$

$$\text{sávonként: } q_{eq,max,f,1} = 11.5 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \quad q_{eq,max,f,2} = 7.7 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \quad q_{eq,max,f,3} = 3.8 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

- a műtárgy alsó síkján:

$h_{f,min}$ földmû+útpályaszerkezet vastagság esetén:

$$q_{eq,min,a_1} := \frac{2 Q_{K_1}}{l_{eq,min,a} \cdot b_{eq,min,a}}$$

$$\text{sávonként: } q_{eq,min,a_1} = 10.5 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \quad q_{eq,min,a_2} = 7.0 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \quad q_{eq,min,a_3} = 3.5 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$h_{f,max}$ földmû+útpályaszerkezet vastagság esetén:

$$q_{eq,max,a_1} := \frac{2 Q_{K_1}}{l_{eq,max,a} \cdot b_{eq,max,a}}$$

$$\text{sávonként: } q_{eq,max,a_1} = 4.5 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \quad q_{eq,max,a_2} = 3.0 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \quad q_{eq,max,a_3} = 1.5 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Megoszló teher (UDL)

Útpályán

- útpályán:

$$1. \text{ sz. sávon: } q_{K_1} := \alpha_{q_1} \cdot 9.0 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} = 9.0 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$2., 3., 4 \text{ sz. sávon és a fennmaradó területen: } q_{K_2} := \alpha_{q_2} \cdot 2.5 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} = 2.5 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

- a műtárgy felső síkján:

$h_{f,min}$ földmû+útpályaszerkezet vastagság esetén:

$$q_{k,min,f} := q_{K_2} + (q_{K_1} - q_{K_2}) \cdot \frac{b_{sáv}}{b_{eq,min,f}} = 7.95 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$h_{f,max}$ földmû+útpályaszerkezet vastagság esetén:

$$q_{k,max,f} := q_{K_2} + (q_{K_1} - q_{K_2}) \cdot \frac{b_{sáv}}{b_{eq,max,f}} = 5.06 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

- a műtárgy alsó síkján:

$h_{f,min}$ földmû+útpályaszerkezet vastagság esetén:

$$q_{k,min,a} := q_{K_2} + (q_{K_1} - q_{K_2}) \cdot \frac{b_{sáv}}{b_{eq,min,a}} = 4.95 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$h_{f,max}$ földmû+útpályaszerkezet esetén:

$$q_{k,max,a} := q_{K_2} + (q_{K_1} - q_{K_2}) \cdot \frac{b_{sáv}}{b_{eq,max,a}} = 4.12 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Járdán

$$q_{K_j} := 1.0 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \quad (\text{kombinációs érték, } gr1a \text{ forgalmi tehercsoport})$$

• A műtárgy felső lemezére ható forgalmi teher

A függőleges terhek vízszintes irányú szétterjedése, a szomszédos sávokon működő terhek áthatása és a TS teher korlátozott hosszának figyelembevételével számítjuk.

- $h_{f,min}$ földmû+útpályaszerkezet vastagság esetén:

$$q_{min.f.UDL.TS} := (q_{eq.min.f_1} + q_{eq.min.f_2}) + q_{k.min.f} \quad l_{eq.min.f} = 2.78 \text{ m hosszón}$$

$$q_{min.f.UDL.TS} = 108.6 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$q_{min.f.UDL} := q_{k.min.f}$$

$$B - l_{eq.min.f} = 1.52 \text{ m hosszón}$$

$$q_{min.f.UDL} = 7.95 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

- $h_{f,max}$ földmû+útpályaszerkezet vastagság esetén:

$$q_{max.f} := (q_{eq.max.f_1} + q_{eq.max.f_2} + q_{eq.max.f_3}) + q_{k.max.f}$$

$$q_{max.f} = 28.2 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

2.2.2. Földnyomás az oldalfalon forgalmi teherből

A műtárgy oldalfalaira ható földnyomást a 2.2.1. szerinti forgalmi teherből nyugalmi nyomás feltételezésével számítjuk.

A biztonság javára történő közelítésként a következő, szimmetrikus tehereseteket vizsgáljuk:

- I. tehereset: a felső lemezen forgalmi teher (UDL+TS), a háttöltés terheletlen,
- II. tehereset: a háttöltés terhelt (UDL+TS) + a felső lemez terheletlen,
- III. tehereset: a felső lemezen forgalmi teher (UDL+TS) + a háttöltés terhelt (UDL+TS).

Az I. tehereset csak vékony földmû+útpályaszerkezet ($h_{f,min}$) esetén releváns, vastag földmû+útpályaszerkezet

($h_{f,max}$) esetén nem kerül figyelembevételre. Az I. teheresetben (a biztonság javára) elhanyagoljuk azt a körülményt, hogy a TS teher a hosszirányú kiterjedése miatt - vékony földtakarás és kis szélességű keretek esetén - a műtárgy mellett is okoz függőleges nyomást (és ebből adódóan vízszintes nyomást az oldalfalon), ami kedvező a felső lemez szempontjából. Ez a felső lemezre mértékadó tehereset.

A II. tehereset azt modellezi, hogy a földtestben számottevő mértékben elmozdulni nem tudó műtárgyon fellépő egyoldali (aszimmetrikus) földnyomás a másik oldalfalon történő feltámaszkodás miatt kiegyenlítődik (szimmetrikussá válik). Ez az oldalfalakra mértékadó tehereset.

A III. tehereset a keretsarokra mértékadó.

Parciális tényező: $\gamma_{Qp} := 1.5$

Kombinációs tényezők: $\psi_{0.Qp} := 0.75$ $\psi_{1.Qp} := 0.75$ $\psi_{2.Qp} := 0$

• Földnyomások $h_{f,min}$ földmû+útpályaszerkezet vastagság esetén

Függőleges nyomás a műtárgy

felső síkiánál:

$$q_{min.f} := q_{min.f.UDL.TS} = 108.6 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

alsó síkjánál:

$$q_{min.a} := (q_{eq.min.a_1} + q_{eq.min.a_2} + q_{eq.min.a_3}) + q_{k.min.a} = 25.9 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Földnyomás a műtárgy oldalfalain:

felül: $p_{min.qof} := q_{min.f} \cdot K_0$

$$p_{min.qof} = 46.3 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

alul: $p_{min.qoa} := q_{min.a} \cdot K_0$

$$p_{min.qoa} = 11.1 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Súrlódás a műtárgy oldalfalain:

felül: $s_{min.qof} := p_{min.qof} \cdot \tan(\delta_f) = 14.6 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$

$$\text{alul: } s_{\min.qoa} := p_{\min.qoa} \cdot \tan(\delta_f) = 3.5 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$\text{átlag: } s_{\min.q} := \frac{s_{\min.qof} + s_{\min.qoa}}{2}$$

$$s_{\min.q} = 9.0 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Földnyomás a műtárgy alsó síkján:

$$p_{\min.qa} := q_{\min.f} + 2 \cdot \frac{s_{\min.qof} + s_{\min.qoa}}{2} \cdot \frac{H}{B} = 124.6 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

• **Földnyomások $h_{f,\max}$ földmű+útpályaszerkezet vastagság esetén:**

Függőleges nyomás a műtárgy

felső síkiánál:

$$q_{\max.f} := q_{\max.f} = 28.2 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

alsó síkiánál:

$$q_{\max.a} := (q_{\text{eq.max.a}_1} + q_{\text{eq.max.a}_2} + q_{\text{eq.max.a}_3}) + q_{k.\max.a} = 13.0 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Földnyomás a műtárgy oldalfalain:

$$\text{felül: } p_{\max.qof} := q_{\max.f} \cdot K_0$$

$$p_{\max.qof} = 12.0 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$\text{alul: } p_{\max.qoa} := q_{\max.a} \cdot K_0$$

$$p_{\max.qoa} = 5.6 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Súrlódás a műtárgy oldalfalain:

$$\text{felül: } s_{\max.qof} := p_{\max.qof} \cdot \tan(\delta_f) = 3.8 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$\text{alul: } s_{\max.qoa} := p_{\max.qoa} \cdot \tan(\delta_f) = 1.8 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$\text{átlag: } s_{\max.q} := \frac{s_{\max.qof} + s_{\max.qoa}}{2}$$

$$s_{\max.q} = 2.8 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Földnyomás a műtárgy alsó síkján:

$$p_{\max.qa} := q_{\max.f} + 2 \cdot \frac{s_{\max.qof} + s_{\max.qoa}}{2} \cdot \frac{H}{B} = 33.1 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

2.2.3. Hőmérséklet-változás

A töltéssel való közvetlen érintkezés miatt egyenletes hőmérséklet-változást nem veszünk figyelembe.

Parciális tényező: $\gamma_T := 1.5$

Kombinációs tényezők: $\psi_{0,T} := 0.6$ $\psi_{1,T} := 0.6$ $\psi_{2,T} := 0.5$

A vastagság mentén fellépő hőmérséklet eloszlását lineárisnak feltételezzük, a fal két oldalának hőmérséklet-különbség értéke (3. típus, betonlemez):

belső oldal melegebb: $\Delta T_{k,b} := 8.0 \text{ K}$

külső oldal melegebb: $\Delta T_{k,b} := 15 \text{ K} \cdot 0.6 = 9.0 \text{ K}$

A továbbiakban közelítésként $\Delta T_{k,b} = 9.0 \text{ K}$ értéket veszünk figyelembe.

2.3. Rendkívüli terhek

A műtárgyon rendkívüli hatást nem veszünk figyelembe.

3. MEREVSÉGEK

3.1. Merevségi arányok

A betonkeresztmetszet külső levegővel érintkező kerülete:

$$u_{FZK} := 2(b + h) = 13.2 \text{ m}$$

Elméleti vastagság:

$$h_0 := 2 \frac{A_{FZK}}{u_{FZK}} = 88.4 \cdot \text{cm}$$

A relatív páratartalom (kültér, RH=80%) hatását figyelembe vevő tényezők:

$$RH := 80\%$$

$$\varphi_{RH} := \left[1 + \frac{1 - RH}{3 \sqrt[3]{\frac{h_0}{\text{mm}}}} \cdot \left(\frac{35}{f_{cm,40}} \cdot \frac{N}{\text{mm}^2} \right)^{0.7} \right] \cdot \left(\frac{35}{f_{cm,40}} \cdot \frac{N}{\text{mm}^2} \right)^{0.2} = 1.10$$

$$\beta_H := \min \left[1.5 \cdot \left[1 + (0.012 \cdot RH \cdot 100)^{18} \right] \cdot \frac{h_0}{\text{mm}} + 250 \cdot \left(\frac{35}{f_{cm,40}} \cdot \frac{N}{\text{mm}^2} \right)^{0.5}, 1500 \cdot \left(\frac{35}{f_{cm,40}} \cdot \frac{N}{\text{mm}^2} \right)^{0.5} \right] = 1281$$

A nyomószilárdság hatását figyelembe vevő tényező:

$$\beta_{fcm} := \frac{16.8}{\sqrt{f_{cm,40} \cdot \frac{\text{mm}^2}{N}}} = 2.42$$

A megterhelés időpontjában érvényes betonkort figyelembe vevő tényező:

$$\beta_{t0,g} := \frac{1}{0.1 + 28^{0.2}} = 0.49$$

A kúszási tényező alapértéke:

$$\varphi_0 := \varphi_{RH} \cdot \beta_{fcm} \cdot \beta_{t0,g} = 1.30$$

Időtényező (végérték: 70 év):

$$\beta_{c,t} := \left(\frac{70 \cdot 365 - 28}{70 \cdot 365 - 28 + \beta_H} \right)^{0.3} = 0.99$$

A kúszási tényező végértéke (lineáris kúszásmodell alapján):

$$\varphi_t := \beta_{c,t} \cdot \varphi_0 = 1.28$$

Alakváltozási tényező (végállapotban):

$$E_{c,eff.40} := \frac{1.05 \cdot E_{cm,40}}{1 + \varphi_t} = 16229 \cdot \frac{N}{\text{mm}^2}$$

Merevségi arányok

pillanatnyi terhelésre:

$$\alpha_{s0} := \frac{E_s}{1.05 \cdot E_{cm,40}} = 5.41$$

tartós terhelésre:

$$\alpha_{st} := \frac{E_s}{E_{c,eff.40}} = 12.32$$

3.2. Ágyazási tényező

A műtárgy alsó síkján és az oldalfalakon csak nyomásnak ellenálló rugalmas ágyazást veszünk figyelembe.

3.2.1. Rugalmas ágyazás az alapsíkon

Az alapsíkon feltételezett talaj (talajcsere) összenyomódási modulusa:

$$E_{s,t} := 3.0 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

Az altalaj tömörsége az utántömörítés következtében a mélységgel nő. Ennek mértékét a $h_{f,\max}$ mélységben 50%-osra feltételezzük.

Ágyazási tényező a műtárgy alsó síkján:

- $h_{f,\min}$ földmű+útpályaszerkezet vastagság esetén:

a műtárgy feltételezett minimális hossza:

$$L_{\min} := 2b_{\text{sáv}} + (h_{f,\min} + H) \cdot 1.5 = 12.5 \text{ m}$$

az alsó sík mélysége az útpálya felső síkjától:

$$t_{\min} := h_{f,\min} + H = 4.30 \text{ m}$$

ágyazási tényező:

$$C_{\min} := \left(\frac{1}{B} + \frac{1}{L_{\min}} + \frac{1}{t_{\min}} \right) E_{s,t} = 16354 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$$

- $h_{f,\max}$ földmű+útpályaszerkezet vastagság esetén:

A műtárgy feltételezett minimális hossza:

$$L_{\max} := 2b_{\text{sáv}} + (h_{f,\max} + H) \cdot 1.5 = 17.7 \text{ m}$$

az alsó sík mélysége az útpálya felső síkjától:

$$t_{\max} := h_{f,\max} + H = 7.80 \text{ m}$$

ágyazási tényező:

$$C_{\max} := \left(\frac{1}{B} + \frac{1}{L_{\max}} + \frac{1}{t_{\max}} \right) E_{s,t} \cdot 1.5 = 18772 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$$

3.2.2. Rugalmas ágyazás az oldalfalakon

A vízszintes irányú ágyazást a háttöltés utántömörödése miatt - a biztonság javára való közelítéssel - a függőleges érték felére vesszük fel.

Vízszintes irányú ágyazási tényező:

$$C_h := \frac{C_{\min} + C_{\max}}{2} \cdot \frac{1}{2} = 8781 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$$

4. IGÉNYBEVÉTELEK

Az igénybevételeket egy 1,5 m hosszúságú kerethíd-szakaszon számítottuk AxisVM X5 program segítségével.

4.1. Hajlítónyomatékok

Vizsgált keresztmetszetek (tartós tervezési állapotban):

- felső lemez

- mezőközepén (fm)
- a kiékelés helyén (fk)
- keretsarokban (fs)

- oldalfal

- a keretsarokban (alul vagy felül) (os)
- a kiékelés helyén (ok)
- mezőközepén (a magasság felében) (om)

- alsó lemez

- mezőközepén (am)

- a kiékelés helyén (ak)
- keretsarokban (as)

• Felső lemez igénybevételei

Mezőközepen:

$$\text{Tervezési érték: } m_{fm.Ed} := 215 \frac{\text{kNm}}{\text{m}}$$

$$\text{Gyakori érték: } m_{fm.gy} := 148 \frac{\text{kNm}}{\text{m}}$$

Kiékelés helyén:

$$\text{Tervezési érték: } m_{fk.Ed} := 128 \frac{\text{kNm}}{\text{m}}$$

$$\text{Gyakori érték: } m_{fk.gy} := 49 \frac{\text{kNm}}{\text{m}}$$

Keretsarokban:

$$\text{Tervezési érték: } m_{fs.Ed} := -183 \frac{\text{kNm}}{\text{m}}$$

$$\text{Gyakori érték: } m_{fs.gy} := -131 \frac{\text{kNm}}{\text{m}}$$

$$\text{egyidejű normálerő: } n_{fm.Ede} := -42 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$\text{egyidejű normálerő: } n_{fm.gye} := -85 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$\text{egyidejű normálerő: } n_{fk.Ede} := -41 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$\text{egyidejű normálerő: } n_{fk.gye} := -28 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$\text{egyidejű normálerő: } n_{fs.Ede} := -124 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$\text{egyidejű normálerő: } n_{fs.gye} := -90 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

• Oldalfal igénybevételei

Mezőközepen:

$$\text{Tervezési érték: } m_{om.Ed} := -105 \frac{\text{kNm}}{\text{m}}$$

$$\text{Gyakori érték: } m_{om.gy} := -62 \frac{\text{kNm}}{\text{m}}$$

Kiékelés helyén:

$$\text{Tervezési érték: } m_{ok.Ed} := -196 \frac{\text{kNm}}{\text{m}}$$

$$\text{Gyakori érték: } m_{ok.gy} := -133 \frac{\text{kNm}}{\text{m}}$$

Keretsarokban:

$$\text{Tervezési érték: } m_{os.Ed} := -240 \frac{\text{kNm}}{\text{m}}$$

$$\text{Gyakori érték: } m_{os.gy} := -173 \frac{\text{kNm}}{\text{m}}$$

$$\text{egyidejű normálerő: } n_{om.Ede} := -320 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$\text{egyidejű normálerő: } n_{om.gye} := -208 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$\text{egyidejű normálerő: } n_{ok.Ede} := -453 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$\text{egyidejű normálerő: } n_{ok.gye} := -332 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$\text{egyidejű normálerő: } n_{os.Ede} := -457 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$\text{egyidejű normálerő: } n_{os.gye} := -337 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

• Alsó lemez igénybevételei

Mezőközepen:

$$\text{Tervezési érték: } m_{am.Ed} := 235 \frac{\text{kNm}}{\text{m}}$$

$$\text{Gyakori érték: } m_{am.gy} := 170 \frac{\text{kNm}}{\text{m}}$$

Kiékelés helyén:

$$\text{Tervezési érték: } m_{ak.Ed} := 133 \frac{\text{kNm}}{\text{m}}$$

$$\text{Gyakori érték: } m_{ak.gy} := 70 \frac{\text{kNm}}{\text{m}}$$

Keretsarokban:

$$\text{Tervezési érték: } m_{as.Ed} := -239 \frac{\text{kNm}}{\text{m}}$$

$$\text{egyidejű normálerő: } n_{am.Ede} := -168 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$\text{egyidejű normálerő: } n_{am.gye} := -123 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$\text{egyidejű normálerő: } n_{ak.Ede} := -75 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$\text{egyidejű normálerő: } n_{ak.gye} := -123 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$\text{egyidejű normálerő: } n_{as.Ede} := -177 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Gyakori érték: $m_{as.gy} := -172 \frac{kNm}{m}$

egyidejű normálerő: $n_{as.gye} := -129 \frac{kN}{m}$

4.2. Nyíróerők

Vizsgált keresztmetszetek (tartós tervezési állapottban):

- felső lemez
 - a kiékelés helyén (fk)
 - a felhajlítások előtt (ff)
- oldalfal a kiékelés helyén (ok)
- alsó lemez
 - a kiékelés helyén (ak)
 - a felhajlítások előtt (af)

• Felső lemez igénybevételei

Kiékelés helyén:

Tervezési érték: $v_{fk.Ed} := 237 \frac{kN}{m}$

egyidejű normálerő: $n_{fk.Edev} := -114 \frac{kN}{m}$

Felhajlítás előtt:

Tervezési érték: $v_{ff.Ed} := 153 \frac{kN}{m}$

egyidejű normálerő: $n_{ff.Edev} := -115 \frac{kN}{m}$

• Oldalfal igénybevételei

Kiékelés helyén:

Tervezési érték: $v_{ok.Ed} := 123 \frac{kN}{m}$

egyidejű normálerő: $n_{ok.Edev} := -445 \frac{kN}{m}$

• Alsó lemez igénybevételei

Kiékelés helyén:

Tervezési érték: $v_{ak.Ed} := 297 \frac{kN}{m}$

egyidejű normálerő: $n_{ak.Edev} := -166 \frac{kN}{m}$

Felhajlítás végén:

Tervezési érték: $v_{af.Ed} := 186 \frac{kN}{m}$

egyidejű normálerő: $n_{af.Edev} := -167 \frac{kN}{m}$

5. A HATÁRÁLLAPOTOK IGAZOLÁSA

A külpontosan nyomott felső és alsó lemezt, valamint az oldalfalat a névleges görbületen alapuló módszerrel vizsgáljuk.

A repedéstágasságot - a biztonság javára történő közelítéssel - gyakori igénybevétel-szinten számítjuk, az erre vonatkozó követelményt pedig az MSZ EN 1992-3 szerinti 2. folyadékszárasi osztálynak megfelelően $h_D/h=0$ figyelembevételével vesszük fel.

Az alakváltozással kapcsolatos követelmények közül csak a felső lemez mezőközépi lehajlását ellenőrizzük.

5.1. Felső lemez

A külpontos nyomás vizsgálatához a névleges görbületen alapuló módszert alkalmazzuk.

Kihajlási hossz (közelítően):

$$l_0 := 0.6(B - v_f) = 2.37 \text{ m}$$

Karcsúság:

$$\lambda := \frac{l_0}{v_{fl}} \cdot \sqrt{12} = 20.3$$

• Méreteltérések

Hossztól függő tényező:

$$\alpha_h := \min \left(1, \frac{2}{\sqrt{\frac{B}{m}}} \right) = 0.96$$

Ferdeség:

$$\theta_i := \frac{1}{200} \cdot \alpha_h = 0.005$$

Elsőrendű külpontosság:

$$e_i := \theta_i \cdot \frac{l_0}{2} = 5.7 \cdot \text{mm}$$

Karcsúsági korlát:

$$\lambda_{\text{lim}} := 20 \cdot \frac{0.7 \cdot 1.1 \cdot 0.7}{\sqrt{\frac{n_{fm} \cdot Ede}{v_{fl} \cdot f_{cd.40}}}} = 159.4 > \lambda = 20.3 \quad \text{a másodrendű hatások figyelmen kívül hagyhatók}$$

5.1.1. Hajlítási teherbírás vizsgálata

• Vizsgálat mezőközépen

A hajlítónvomaték tervezési értéke az elsőrendű többletnyomatékkal növelve:

$$m_{fm.Ed'} := m_{fm.Ed} + |n_{fm.Ede}| \cdot e_i = 215 \cdot \frac{\text{kNm}}{\text{m}}$$

Hasznos magasság:

$$d_{fm} := v_{fl} - c_s - 10\text{mm} - 0.5 \cdot 12\text{mm} - 5\text{mm} = 344 \cdot \text{mm}$$

Minimális vasalás:

$$a_{s.fm.min} := \min \left(0.0013 \cdot d_{fm}, 0.26 \cdot \frac{f_{ctm.40}}{f_{yk}} d_{fm} \right) = 447 \cdot \frac{\text{mm}^2}{\text{m}}$$

Alkalmazott vasalás: $\phi 10/125(32) + \phi 14/250(19) + \phi 14/250(36) + \phi 12/250(16)$

$$a_{s.fm} := \frac{(10\text{mm})^2 \pi}{4 \cdot 125\text{mm}} + 2 \cdot \frac{(14\text{mm})^2 \pi}{4 \cdot 250\text{mm}} + \frac{(12\text{mm})^2 \pi}{4 \cdot 250\text{mm}} = 2312 \cdot \frac{\text{mm}^2}{\text{m}} > a_{s.fm.min} = 447 \cdot \frac{\text{mm}^2}{\text{m}}$$

Nyomott zóna:

$$x := \frac{a_{s.fm} \cdot f_{yd} - n_{fm.Ede}}{f_{cd.40}} = 46.2 \cdot \text{mm}$$

Hajlítási teherbírás:

$$m_{Rd} := a_{s.fm} \cdot f_{yd} \cdot \left(d_{fm} - \frac{x}{2} \right) - n_{fm.Ede} \cdot \left(\frac{v_{fl}}{2} - \frac{x}{2} \right)$$

$$m_{Rd} = 330 \cdot \frac{\text{kNm}}{\text{m}} > m_{fm.Ed'} = 215 \cdot \frac{\text{kNm}}{\text{m}} \quad \text{OK}$$

Kihasználtság: $\mu_{fm} := \frac{m_{fm.Ed'}}{m_{Rd}} = 0.65$

• Vizsgálat a kiékelésnél

A hajlítónvomaték tervezési értéke az elsőrendű többletnyomatékkal növelve:

$$m_{fk.Ed'} := m_{fk.Ed} + |n_{fk.Ede}| \cdot e_i = 128 \cdot \frac{\text{kNm}}{\text{m}}$$

Vastagságcsökkenés a mezőközépi km-hez képest:

$$\Delta v_{fk} := -5.5\text{cm} \cdot \frac{0.5 \cdot 2.7\text{m}}{0.5B} = -3.5 \cdot \text{cm}$$

Hasznos magasság:

$$d_{fk} := v_{fl} + \Delta v_{fk} - c_s - 10\text{mm} - 0.5 \cdot 12\text{mm} - 5\text{mm} = 309 \cdot \text{mm}$$

Minimális vasalás:

$$a_{s.fk.min} := \min \left(0.0013 \cdot d_{fk}, 0.26 \frac{f_{ctm.40}}{f_{yk}} d_{fk} \right) = 402 \cdot \frac{\text{mm}^2}{\text{m}}$$

Alkalmazott vasalás: $\phi 10/125(32) + \phi 12/250(16)$

$$a_{s.fk} := \frac{(10\text{mm})^2 \pi}{4 \cdot 125\text{mm}} + \frac{(12\text{mm})^2 \pi}{4 \cdot 250\text{mm}} = 1081 \cdot \frac{\text{mm}^2}{\text{m}} > a_{s.fk.min} = 402 \cdot \frac{\text{mm}^2}{\text{m}}$$

Nyomott zóna:

$$x := \frac{a_{s.fk} \cdot f_{yd} - n_{fk} \cdot E_{de}}{f_{cd.40}} = 22.5 \cdot \text{mm}$$

Hajlítási teherbírás:

$$m_{Rd} := a_{s.fk} \cdot f_{yd} \cdot \left(d_{fk} - \frac{x}{2} \right) - n_{fk} \cdot E_{de} \cdot \left(\frac{v_{fl} + \Delta v_{fk}}{2} - \frac{x}{2} \right) \quad \boxed{m_{Rd} = 147 \cdot \frac{\text{kNm}}{\text{m}}} > m_{fk.Ed'} = 128 \cdot \frac{\text{kNm}}{\text{m}} \quad \text{OK}$$

Kihasználtság: $\mu_{fk} := \frac{m_{fk.Ed'}}{m_{Rd}} = 0.87$

• Vizsgálat a keretsarokban

A hajlítónvomaték tervezési értéke az elsőrendű többletnyomatékkal növelve:

$$m_{fs.Ed'} := m_{fs.Ed} - |n_{fs.Ede}| \cdot e_i = -184 \cdot \frac{\text{kNm}}{\text{m}}$$

Vastagságnövekmény a mezőközépi km-hez képest:

$$\Delta v_{fs} := h_{ék} - 5.5\text{cm} \cdot \frac{0.5B - v_f}{0.5B} = 25.4 \cdot \text{cm}$$

Hasznos magasság:

$$d_{fs} := v_{fl} + \Delta v_{fs} - c_s - 10\text{mm} - 0.5 \cdot 14\text{mm} - 5\text{mm} = 597 \cdot \text{mm}$$

Minimális vasalás:

$$a_{s.fs.min} := \min \left(0.0013 \cdot d_{fs}, 0.26 \frac{f_{ctm.40}}{f_{yk}} d_{fs} \right) = 776 \cdot \frac{\text{mm}^2}{\text{m}}$$

Alkalmazott vasalás: $\phi 14/250(19-19.1) + \phi 14/250(36)$

$$a_{s.fs} := 2 \frac{(14\text{mm})^2 \pi}{4 \cdot 250\text{mm}} = 1232 \cdot \frac{\text{mm}^2}{\text{m}} > a_{s.fs.min} = 776 \cdot \frac{\text{mm}^2}{\text{m}}$$

Nyomott zóna:

$$x := \frac{a_{s.fs} \cdot f_{yd} - n_{fs.Ede}}{f_{cd.40}} = 29.1 \cdot \text{mm}$$

Hajlítási teherbírás:

$$m_{Rd} := a_{s.fs} \cdot f_{yd} \cdot \left(d_{fs} - \frac{x}{2} \right) - n_{fs.Ede} \cdot \left(\frac{v_{fl} + \Delta v_{fs}}{2} - \frac{x}{2} \right) \quad \boxed{m_{Rd} = 351 \cdot \frac{\text{kNm}}{\text{m}}} > |m_{fs.Ed'}| = 184 \cdot \frac{\text{kNm}}{\text{m}} \quad \text{OK}$$

Kihasználtság: $\mu_{fs} := \frac{|m_{fs.Ed'}|}{m_{Rd}} = 0.52$

5.1.2. Nyírási teherbírás vizsgálata

Anyírási teherbírást a kiékelés és a felhajlítások előtti keresztmetszetben vizsgáljuk.

- Vizsgálat a felhajtás előtt**

Hosszvasalás:

$$a_{sl} := a_{s.fm} = 2312 \cdot \frac{\text{mm}^2}{\text{m}}$$

Fajlagos acélhányad:

$$\rho_l := \frac{a_{sl}}{d_{fm}} = 0.0067$$

Méretezési tényező:

$$k := \min \left(1 + \sqrt{\frac{200}{d_{fm}} \cdot \text{mm}}, 2 \right) = 1.76$$

Átlagos normál feszültség:

$$\sigma_{cp} := \frac{\eta_{ff} \cdot E_{dev}}{v_{fl}} = -0.3 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

A méretezett nyírási vasalást nem tartalmazó km. teherbírása:

$$v_{Rd.c} := \left[\frac{0.18}{\gamma_c} \cdot k \cdot \left(100 \rho_l \cdot f_{ck} \cdot 40 \cdot \frac{\text{mm}^2}{\text{N}} \right)^{0.33} \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} + 0.15 \cdot |\sigma_{cp}| \right] \cdot d_{fm} \quad \boxed{v_{Rd.c} = 230 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}} > v_{ff.Ed} = 153 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}} \quad \text{OK}$$

- Vizsgálat a kiékelésnél**

Nyírási vasalás: $\phi 14/250(36)$

$$\alpha_f := 45^\circ$$

$$s_f := 24 \text{ cm}$$

$$a_{sf.fk} := \frac{(14 \text{ mm})^2 \pi}{4 \cdot 250 \text{ mm}} = 616 \cdot \frac{\text{mm}^2}{\text{m}}$$

Anyomott zóna feltételezett dőlésszöge:

$$\theta := 37^\circ$$

$$\cot(\theta) = 1.3$$

A keresztmetszet nyírási teherbírása:

$$v_{Rd.s} := \frac{a_{sf.fk}}{s_f} \cdot 0.9 d_{fk} \cdot f_{yd} \cdot (\cot(\theta) + \cot(\alpha_f)) \cdot \sin(\alpha_f) \quad \boxed{v_{Rd.s} = 511 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}} > v_{fk.Ed} = 237 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}} \quad \text{OK}$$

5.1.3. Repedéstágasság ellenőrzése

A repedéstágasságot a legkisebb kihasználtság helyén nem ellenőrizzük.

$$\text{mezőközépen: } \mu_{fm} = 0.65$$

$$\text{kiékelésnél: } \mu_{fk} = 0.87$$

$$\text{keretsarokban: } \mu_{fs} = 0.52$$

Téher tartósságától függő tényező:

$$k_t := 0.5$$

- Vizsgálat mezőközépen**

Hasznos magasság:

$$d_{fm}' := d_{fm} + 5 \text{ mm} = 349 \cdot \text{mm}$$

Alkalmazott vasalás:

$$a_{s.fm} = 2312 \cdot \frac{\text{mm}^2}{\text{m}}$$

II. feszültségállapot vizsgálata

$$E_{c,eff.40} \cdot \kappa \cdot \frac{y_{II}^2}{2} + n_{fm.gye} = \kappa \cdot (d_{fm'} - y_{II}) E_s \cdot a_{s.fm}$$

$$E_{c,eff.40} \cdot \kappa \cdot \frac{y_{II}^3}{3} + n_{fm.gye} \cdot \left(y_{II} - \frac{v_{fl}}{2} \right) + \kappa \cdot (d_{fm'} - y_{II})^2 E_s \cdot a_{s.fm} = m_{fm.gy}$$

$$\kappa = 4.2 \times 10^{-6} \cdot \frac{1}{mm} \quad \boxed{y_{II} = 123.8 \cdot mm} > \min[50mm, 0.2(v_{fl})] = 50 \cdot mm \quad OK$$

Acélfeszültség:

$$\sigma_s := \kappa \cdot (d_{fm'} - y_{II}) \cdot E_s = 189 \cdot \frac{N}{mm^2}$$

Hatékony húzott betonzóna:

$$a_{c,eff} := \min \left[2.5 \left[(v_{fl}) - d_{fm'} \right], \frac{(v_{fl}) - y_{II}}{3}, \frac{(v_{fl})}{2} \right] = 937 \cdot \frac{cm^2}{m}$$

Húzott acélhányad:

$$\rho_{s,eff} := \frac{a_{s.fm}}{a_{c,eff}} = 0.025$$

Acélnyúlás:

$$\Delta \epsilon_{sm} := \max \left[\frac{\sigma_s - k_t \cdot \frac{f_{ctm.40}}{\rho_{s,eff}} \cdot (1 + \alpha_{st} \cdot \rho_{s,eff})}{E_s}, 0.6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} \right] = 0.00057$$

Repedéstávolság:

$$s_{r,max} := 3.4c_s + 0.8 \cdot 0.5 \cdot 0.425 \cdot \frac{14mm}{\rho_{s,eff}} = 232 \cdot mm$$

Repedéstágasság:

$$w_k := \Delta \epsilon_{sm} \cdot s_{r,max} \quad \boxed{w_k = 0.13 \cdot mm} < 0,2 \cdot mm \quad OK$$

• Vizsgálat a kiékelésnél

Hasznos magasság:

$$d_{fk'} := d_{fk} + 5mm = 314 \cdot mm$$

Alkalmazott vasalás:

$$a_{s.fk} = 1081 \cdot \frac{mm^2}{m}$$

II. feszültségállapot vizsgálata

$$E_{c,eff.40} \cdot \kappa \cdot \frac{y_{II}^2}{2} + n_{fk.gye} = \kappa \cdot (d_{fk'} - y_{II}) E_s \cdot a_{s.fk}$$

$$E_{c,eff.40} \cdot \kappa \cdot \frac{y_{II}^3}{3} + n_{fk.gye} \cdot \left(y_{II} - \frac{v_{fl} + \Delta v_{fk}}{2} \right) + \kappa \cdot (d_{fk'} - y_{II})^2 E_s \cdot a_{s.fk} = m_{fk.gy}$$

$$\kappa = 3.1 \times 10^{-6} \cdot \frac{1}{mm} \quad \boxed{y_{II} = 84.9 \cdot mm} > \min[50mm, 0.2(v_{fl} + \Delta v_{fk})] = 50 \cdot mm \quad OK$$

Acélfeszültség:

$$\sigma_s := \kappa \cdot (d_{fk'} - y_{II}) \cdot E_s = 144 \cdot \frac{N}{mm^2}$$

Hatékony húzott betonozóna:

$$a_{c,eff} := \min \left[2.5 \left[(v_{fl} + \Delta v_{fk}) - d_{fk'} \right], \frac{(v_{fl} + \Delta v_{fk}) - y_{ll}}{3}, \frac{(v_{fl} + \Delta v_{fk})}{2} \right] = 952 \cdot \frac{\text{cm}^2}{\text{m}}$$

Húzott acélhányad:

$$\rho_{s,eff} := \frac{a_{s,fk}}{a_{c,eff}} = 0.0114$$

Acélnyúlás:

$$\Delta \varepsilon_{sm} := \max \left[\frac{\sigma_s - k_t \cdot \frac{f_{ctm,40}}{\rho_{s,eff}} \cdot (1 + \alpha_{st} \cdot \rho_{s,eff})}{E_s}, 0.6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} \right] = 0.00043$$

Repedéstávolság:

$$s_{r,max} := 3.4c_s + 0.8 \cdot 0.5 \cdot 0.425 \cdot \frac{12\text{mm}}{\rho_{s,eff}} = 316 \cdot \text{mm}$$

Repedéstágasság:

$$w_k := \Delta \varepsilon_{sm} \cdot s_{r,max}$$

$$w_k = 0.14 \cdot \text{mm} < 0,2 \text{ mm} \quad \text{OK}$$

5.1.4. Lehajlás ellenőrzése

A felső lemez lehajlását a gyakori igénybevétel szinten mutatjuk ki.

Lehajlás állandó teherből:

$$e_G := (2.9 - 2.6)\text{mm} = 0.3 \cdot \text{mm}$$

Lehajlás földsúlyból:

$$e_{p,min} := (3.0 - 2.8)\text{mm} = 0.2 \cdot \text{mm}$$

$$e_{p,max} := (9.0 - 7.5)\text{mm} = 1.5 \cdot \text{mm}$$

Lehajlás forgalmi teherből:

$$e_{Q,min} := (7.9 - 6.0)\text{mm} \cdot \frac{E_{c,eff,40}}{E_{cm,40}} = 0.9 \cdot \text{mm}$$

$$e_{Q,max} := (2.4 - 1.9)\text{mm} \cdot \frac{E_{c,eff,40}}{E_{cm,40}} = 0.2 \cdot \text{mm}$$

Lehajlás a gyakori igénybevétel-szinten:

$$e_{fr} := \max(e_G + e_{p,min} + e_{Q,min}, e_G + e_{p,max} + e_{Q,max})$$

$$e_{fr} = 2.0 \cdot \text{mm} < \frac{b}{400} = 9.0 \cdot \text{mm} \quad \text{OK}$$

5.2. Oldalfal

Kihajlási hossz (közelítően):

$$l_0 := H - (v_{fl} + v_{al}) \cdot 0.5 = 3.40 \text{ m}$$

Karcsúság:

$$\lambda := \frac{l_0}{v_f} \cdot \sqrt{12} = 33.7$$

• Méreteltérések

Hossztól függő tényező:

$$\alpha_h := \min \left(1, \frac{2}{\sqrt{\frac{H}{m}}} \right) = 1.00$$

Ferdeség:

$$\theta_i := \frac{1}{200} \cdot \alpha_h = 0.005$$

Elsőrendű külpontosság:

$$e_i := \theta_i \cdot \frac{l_0}{2} = 8.5 \cdot \text{mm}$$

Karcsúsági korlát:

$$\lambda_{\text{lim}} := 20 \cdot \frac{0.7 \cdot 1.1 \cdot 0.7}{\sqrt{\frac{n_{\text{om}} \cdot E_{\text{de}}}{v_f \cdot f_{\text{cd},40}}}} = 53.7 > \lambda = 33.7 \quad \text{a másodrendű hatások figyelmen kívül hagyhatók}$$

5.2.1. Hajlítási teherbírás vizsgálata

• Vizsgálat mezőközépen

A hajlítónyomaték tervezési értéke az elsőrendű többletanyagot növelve:

$$m_{\text{om},\text{Ed}'} := m_{\text{om},\text{Ed}} - |n_{\text{om},\text{Ede}}| \cdot e_i = -108 \cdot \frac{\text{kNm}}{\text{m}}$$

Hasznos magasság:

$$d_{\text{om}} := v_f - c_s - 10\text{mm} - 0.5 \cdot 14\text{mm} - 5\text{mm} = 288 \cdot \text{mm}$$

Minimális vasalás:

$$a_{\text{s},\text{om},\text{min}} := \min \left(0.0013 \cdot d_{\text{om}}, 0.26 \cdot \frac{f_{\text{ctm},40}}{f_{\text{yk}}} d_{\text{om}} \right) = 374 \cdot \frac{\text{mm}^2}{\text{m}}$$

Alkalmazott vasalás: $\phi 10/125(12) + \phi 14/250(36-27) + \phi 14/500(11)$

$$a_{\text{s},\text{om}} := \frac{(10\text{mm})^2 \pi}{4 \cdot 125\text{mm}} + \frac{(14\text{mm})^2 \pi}{4 \cdot 250\text{mm}} + \frac{(14\text{mm})^2 \pi}{4 \cdot 500\text{mm}} = 1552 \cdot \frac{\text{mm}^2}{\text{m}} > a_{\text{s},\text{om},\text{min}} = 374 \cdot \frac{\text{mm}^2}{\text{m}}$$

Nyomott zóna:

$$x := \frac{a_{\text{s},\text{om}} \cdot f_{\text{yd}} - n_{\text{om},\text{Ede}}}{f_{\text{cd},40}} = 43.9 \cdot \text{mm}$$

Hajlítási teherbírás:

$$m_{\text{Rd}} := a_{\text{s},\text{om}} \cdot f_{\text{yd}} \cdot \left(d_{\text{om}} - \frac{x}{2} \right) - n_{\text{om},\text{Ede}} \cdot \left(\frac{v_f}{2} - \frac{x}{2} \right) \quad \boxed{m_{\text{Rd}} = 229 \cdot \frac{\text{kNm}}{\text{m}}} > |m_{\text{om},\text{Ed}'}| = 108 \cdot \frac{\text{kNm}}{\text{m}} \quad \text{OK}$$

Kihasználtság: $\mu_{\text{om}} := \frac{|m_{\text{om},\text{Ed}'}|}{m_{\text{Rd}}} = 0.47$

• Vizsgálat a kiékelésnél

A hajlítónyomaték tervezési értéke az elsőrendű többletanyagot növelve:

$$m_{\text{ok},\text{Ed}'} := m_{\text{ok},\text{Ed}} - |n_{\text{ok},\text{Ede}}| \cdot e_i = -200 \cdot \frac{\text{kNm}}{\text{m}}$$

Hasznos magasság:

$$d_{\text{ok}} := v_f - c_s - 10\text{mm} - 0.5 \cdot 14\text{mm} - 5\text{mm} = 288 \cdot \text{mm}$$

Minimális vasalás:

$$a_{s.ok.min} := \min \left(0.0013 \cdot d_{ok}, 0.26 \frac{f_{ctm.40}}{f_{yk}} d_{ok} \right) = 374 \cdot \frac{mm^2}{m}$$

Alkalmazott vasalás: $\phi 10/125(12) + \phi 14/250(36-27) + \phi 14/500(11)$

$$a_{s.ok} := \frac{(10mm)^2 \pi}{4 \cdot 125mm} + \frac{(14mm)^2 \pi}{4 \cdot 250mm} + \frac{(14mm)^2 \pi}{4 \cdot 500mm} = 1552 \cdot \frac{mm^2}{m} > a_{s.ok.min} = 374 \cdot \frac{mm^2}{m}$$

Nyomott zóna:

$$x := \frac{a_{s.ok} \cdot f_{yd} - n_{ok.Ede}}{f_{cd.40}} = 49.8 \cdot mm$$

Hajlítási teherbírás:

$$m_{Rd} := a_{s.ok} \cdot f_{yd} \cdot \left(d_{ok} - \frac{x}{2} \right) - n_{ok.Ede} \cdot \left(\frac{v_f}{2} - \frac{x}{2} \right) \quad \boxed{m_{Rd} = 246 \cdot \frac{kNm}{m}} > |m_{ok.Ed}| = 200 \cdot \frac{kNm}{m} \quad OK$$

Kihasználtság: $\mu_{ok} := \frac{|m_{ok.Ed}|}{m_{Rd}} = 0.81$

- Vizsgálat a keretsarokban**

A hajlítónyomaték tervezési értéke az elsőrendű többletnyomatékkal növelve:

$$m_{os.Ed'} := m_{os.Ed} - |n_{os.Ede}| \cdot e_i = -244 \cdot \frac{kNm}{m}$$

Vastagságnövekmény a mezőközépi km-hez képest:

$$\Delta v_{os} := b_{ék} = 45.0 \cdot cm$$

Hasznos magasság:

$$d_{os} := v_f + \Delta v_{os} - c_s - 10mm - 0.5 \cdot 14mm - 5mm = 738 \cdot mm$$

Minimális vasalás:

$$a_{s.os.min} := \min \left(0.0013 \cdot d_{os}, 0.26 \frac{f_{ctm.40}}{f_{yk}} d_{os} \right) = 959 \cdot \frac{mm^2}{m}$$

Alkalmazott vasalás: $\phi 14/250(22-22.1) + \phi 14/250(27) + \phi 14/500(11)$

$$a_{s.os} := 2 \frac{(14mm)^2 \pi}{4 \cdot 250mm} + \frac{(14mm)^2 \pi}{4 \cdot 500mm} = 1539 \cdot \frac{mm^2}{m} > a_{s.fs.min} = 776 \cdot \frac{mm^2}{m}$$

Nyomott zóna:

$$x := \frac{a_{s.os} \cdot f_{yd} - n_{os.Ede}}{f_{cd.40}} = 49.7 \cdot mm$$

Hajlítási teherbírás:

$$m_{Rd} := a_{s.os} \cdot f_{yd} \cdot \left(d_{os} - \frac{x}{2} \right) - n_{os.Ede} \cdot \left(\frac{v_f + \Delta v_{os}}{2} - \frac{x}{2} \right) \quad \boxed{m_{Rd} = 649 \cdot \frac{kNm}{m}} > |m_{os.Ed}| = 244 \cdot \frac{kNm}{m} \quad OK$$

Kihasználtság: $\mu_{os} := \frac{|m_{os.Ed}|}{m_{Rd}} = 0.38$

5.2.2. Nyírási teherbírás vizsgálata

Anyírási teherbírás a kiékelés keresztmetszetében vizsgáljuk.

- Vizsgálat a felhajlítás előtt**

Hosszvasalás:

$$a_{sl} := a_{s.ok} = 1552 \cdot \frac{\text{mm}^2}{\text{m}}$$

Fajlagos acélhányad:

$$\rho_l := \frac{a_{sl}}{d_{ok}} = 0.0054$$

Méretezési tényező:

$$k := \min \left(1 + \sqrt{\frac{200}{d_{ok}} \cdot \text{mm}}, 2 \right) = 1.83$$

Átlagos normálfeszültség:

$$\sigma_{cp} := \frac{n_{ok} \cdot E_{dev}}{v_f} = -1.3 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

A méretezett nyírási vasalást nem tartalmazó km. teherbírása:

$$v_{Rd.c} := \left[\frac{0.18}{\gamma_c} \cdot k \cdot \left(100 \rho_l \cdot f_{ck} \cdot 40 \cdot \frac{\text{mm}^2}{\text{N}} \right)^{0.33} \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} + 0.15 \cdot |\sigma_{cp}| \right] \cdot d_{ok} \quad \boxed{v_{Rd.c} = 229 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}} > v_{ok.Ed} = 123 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}} \text{ OK}$$

5.2.3. Repedéstágasság ellenőrzése

A repedéstágasságot a legnagyobb kihasználtság helyén ellenőrizzük.

$$\text{mezőközépen: } \mu_{om} = 0.47 \quad \text{kiékelésnél: } \mu_{ok} = 0.81 \quad \text{keretsarokban: } \mu_{os} = 0.38$$

$$\text{Teher tartósságától függő tényező: } k_t := 0.5$$

• Vizsgálat a kiékelésnél

Hasznos magasság:

$$d_{ok'} := d_{ok} + 5\text{mm} = 293 \cdot \text{mm}$$

$$\text{Alkalmazott vasalás: } a_{s.ok} = 1552 \cdot \frac{\text{mm}^2}{\text{m}}$$

II. feszültségállapot vizsgálata

$$E_{c,eff.40} \cdot \kappa \cdot \frac{y_{II}^2}{2} + n_{ok.gye} = \kappa \cdot (d_{ok'} - y_{II}) E_s \cdot a_{s.ok}$$

$$E_{c,eff.40} \cdot \kappa \cdot \frac{y_{II}^3}{3} + n_{ok.gye} \cdot \left(y_{II} - \frac{v_f}{2} \right) + \kappa \cdot (d_{ok'} - y_{II})^2 E_s \cdot a_{s.ok} = |m_{ok.gy}|$$

$$\kappa = 6.3 \times 10^{-6} \cdot \frac{1}{\text{mm}} \quad \boxed{y_{II} = 115.5 \cdot \text{mm}} > \min(50\text{mm}, 0.2v_f) = 50 \cdot \text{mm} \quad \text{OK}$$

Acélfeszültség:

$$\sigma_s := \kappa \cdot (d_{ok'} - y_{II}) \cdot E_s = 222 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Hatékony húzott betonzóna:

$$a_{c,eff} := \min \left[2.5(v_f - d_{ok'}), \frac{v_f - y_{II}}{3}, \frac{v_f}{2} \right] = 782 \cdot \frac{\text{cm}^2}{\text{m}}$$

Húzott acélhányad:

$$\rho_{s,eff} := \frac{a_{s,ok}}{a_{c,eff}} = 0.020$$

Acélnyúlás:

$$\Delta \epsilon_{sm} := \max \left[\frac{\sigma_s - k_t \cdot \frac{f_{ctm,40}}{\rho_{s,eff}} \cdot (1 + \alpha_{st} \cdot \rho_{s,eff})}{E_s}, 0.6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} \right] = 0.00067$$

Repedéstávolság:

$$s_{r,max} := 3.4c_s + 0.8 \cdot 0.5 \cdot 0.425 \cdot \frac{12 \text{ mm}}{\rho_{s,eff}} = 239 \cdot \text{mm}$$

Repedéstágasság:

$$w_k := \Delta \epsilon_{sm} \cdot s_{r,max}$$

$$w_k = 0.16 \cdot \text{mm} < 0,2 \text{ mm} \quad \text{OK}$$

5.3. Alsó lemez

Kihajlási hossz (közelítően):

$$l_0 := 0.6(B - v_f) = 2.37 \text{ m}$$

Karcsúság:

$$\lambda := \frac{l_0}{v_{al}} \cdot \sqrt{12} = 20.5$$

- Méreteltérések**

Hossztól függő tényező:

$$\alpha_h := \min \left(1, \frac{2}{\sqrt{\frac{B}{m}}} \right) = 0.96$$

Ferdeség:

$$\theta_i := \frac{1}{200} \cdot \alpha_h = 0.005$$

Elsőrendű kiülbontosság:

$$e_i := \theta_i \cdot \frac{l_0}{2} = 5.7 \cdot \text{mm}$$

Karcsúsági korlát:

$$\lambda_{lim} := 20 \cdot \frac{0.7 \cdot 1.1 \cdot 0.7}{\sqrt{\frac{n_{am,Ede}}{v_{al} \cdot f_{cd,40}}}} = 79.2 > \lambda = 20.5 \quad \text{a másodrendű hatások figyelmen kívül hagyhatók}$$

5.3.1. Hajlítási teherbírás vizsgálata

- Vizsgálat mezőközépen**

A hajlítónvomaték tervezési értéke az elsőrendű többletnvomatékkal növelve:

$$m_{am,Ed'} := m_{am,Ed} + |n_{am,Ede}| \cdot e_i = 236 \cdot \frac{\text{kNm}}{\text{m}}$$

Hasznos magasság:

$$d_{am} := v_{al} - c_s - 10 \text{ mm} - 0.5 \cdot 14 \text{ mm} - 5 \text{ mm} = 338 \cdot \text{mm}$$

Minimális vasalás:

$$a_{s.am.min} := \min \left(0.0013 \cdot d_{am}, 0.26 \frac{f_{ctm.40}}{f_{yk}} d_{am} \right) = 439 \cdot \frac{mm^2}{m}$$

Alkalmazott vasalás: $\phi 10/125(32) + \phi 14/250(22) + \phi 14/250(27) + \phi 16/250(28)$

$$a_{s.am} := \frac{(10mm)^2 \pi}{4 \cdot 125mm} + 2 \frac{(14mm)^2 \pi}{4 \cdot 250mm} + \frac{(16mm)^2 \pi}{4 \cdot 250mm} = 2664 \cdot \frac{mm^2}{m} > a_{s.am.min} = 439 \cdot \frac{mm^2}{m}$$

Nyomott zóna:

$$x := \frac{a_{s.am} \cdot f_{yd} - n_{am} \cdot E_{de}}{f_{cd.40}} = 58.5 \cdot mm$$

Hajlítási teherbírási:

$$m_{Rd} := a_{s.am} \cdot f_{yd} \cdot \left(d_{am} - \frac{x}{2} \right) - n_{am} \cdot E_{de} \cdot \left(\frac{v_{al}}{2} - \frac{x}{2} \right) \quad \boxed{m_{Rd} = 386 \cdot \frac{kNm}{m}} > m_{am.Ed'} = 236 \cdot \frac{kNm}{m} \quad OK$$

Kihasználtság: $\mu_{am} := \frac{m_{am.Ed'}}{m_{Rd}} = 0.61$

• Vizsgálat a kiékelésnél

A haillónvomaték tervezési értéke az elsőrendű többletnyomatékkal növelve:

$$m_{ak.Ed'} := m_{ak.Ed} + |n_{ak.Ede}| \cdot e_i = 133 \cdot \frac{kNm}{m}$$

Hasznos magasság:

$$d_{ak} := v_{al} - c_s - 10mm - 0.5 \cdot 14mm - 5mm = 338 \cdot mm$$

Minimális vasalás:

$$a_{s.ak.min} := \min \left(0.0013 \cdot d_{ak}, 0.26 \frac{f_{ctm.40}}{f_{yk}} d_{ak} \right) = 439 \cdot \frac{mm^2}{m}$$

Alkalmazott vasalás: $\phi 10/125(32) + \phi 16/250(28)$

$$a_{s.ak} := \frac{(10mm)^2 \pi}{4 \cdot 125mm} + \frac{(16mm)^2 \pi}{4 \cdot 250mm} = 1433 \cdot \frac{mm^2}{m} > a_{s.ak.min} = 439 \cdot \frac{mm^2}{m}$$

Nyomott zóna:

$$x := \frac{a_{s.ak} \cdot f_{yd} - n_{ak.Ede}}{f_{cd.40}} = 30.8 \cdot mm$$

Hajlítási teherbírási:

$$m_{Rd} := a_{s.ak} \cdot f_{yd} \cdot \left(d_{ak} - \frac{x}{2} \right) - n_{ak.Ede} \cdot \left(\frac{v_{al}}{2} - \frac{x}{2} \right) \quad \boxed{m_{Rd} = 215 \cdot \frac{kNm}{m}} > m_{ak.Ed'} = 133 \cdot \frac{kNm}{m} \quad OK$$

Kihasználtság: $\mu_{ak} := \frac{m_{ak.Ed'}}{m_{Rd}} = 0.62$

• Vizsgálat a keretsarokban

A haillónvomaték tervezési értéke az elsőrendű többletnyomatékkal növelve:

$$m_{as.Ed'} := m_{as.Ed} - |n_{as.Ede}| \cdot e_i = -240 \cdot \frac{kNm}{m}$$

Vastagságnövekmény a mezőközépi km-hez képest:

$$\Delta v_{as} := h_{ék} = 30.0 \cdot cm$$

Hasznos magasság:

$$d_{as} := v_{al} + \Delta v_{as} - c_s - 10\text{mm} - 0.5 \cdot 14\text{mm} - 5\text{mm} = 638 \cdot \text{mm}$$

Minimális vasalás:

$$a_{s.as.min} := \min \left(0.0013 \cdot d_{as}, 0.26 \frac{f_{ctm.40}}{f_{yk}} d_{as} \right) = 829 \cdot \frac{\text{mm}^2}{\text{m}}$$

Alkalmazott vasalás: $\phi 14/250(22-22.1) + \phi 14/250(27)$

$$a_{s.as} := 2 \frac{(14\text{mm})^2 \pi}{4 \cdot 250\text{mm}} = 1232 \cdot \frac{\text{mm}^2}{\text{m}} > a_{s.as.min} = 829 \cdot \frac{\text{mm}^2}{\text{m}}$$

Nyomott zóna:

$$x := \frac{a_{s.as} \cdot f_{yd} - n_{as} \cdot E_{de}}{f_{cd.40}} = 31.4 \cdot \text{mm}$$

Hajlítási teherbírás:

$$m_{Rd} := a_{s.as} \cdot f_{yd} \cdot \left(d_{as} - \frac{x}{2} \right) - n_{as} \cdot E_{de} \cdot \left(\frac{v_{al} + \Delta v_{as}}{2} - \frac{x}{2} \right) \quad \boxed{m_{Rd} = 392 \cdot \frac{\text{kNm}}{\text{m}}} > |m_{as.Ed}| = 240 \cdot \frac{\text{kNm}}{\text{m}} \quad \text{OK}$$

Kihasználtság: $\mu_{as} := \frac{|m_{as.Ed}|}{m_{Rd}} = 0.61$

5.3.2. Nyírási teherbírás vizsgálata

Anyírási teherbírást a kiékelés és a felhajlítások előtti keresztmetszetben vizsgáljuk.

• Vizsgálat a felhajlítás előtt

Hosszvasalás:

$$a_{sl} := a_{s.am} = 2664 \cdot \frac{\text{mm}^2}{\text{m}}$$

Fajlagos acélhányad:

$$\rho_l := \frac{a_{sl}}{d_{am}} = 0.0079$$

Méretezési tényező:

$$k := \min \left(1 + \sqrt{\frac{200}{d_{am}} \cdot \text{mm}}, 2 \right) = 1.77$$

Átlagos normálfeszültség:

$$\sigma_{cp} := \frac{n_{af} \cdot E_{dev}}{v_{al}} = -0.4 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

A méretezett nyírási vasalást nem tartalmazó km. teherbírása:

$$v_{Rd.c} := \left[\frac{0.18}{\gamma_c} \cdot k \cdot \left(100 \rho_l \cdot f_{ck.40} \cdot \frac{\text{mm}^2}{\text{N}} \right)^{0.33} \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} + 0.15 \cdot |\sigma_{cp}| \right] \cdot d_{am} \quad \boxed{v_{Rd.c} = 245 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}} > v_{af.Ed} = 186 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}} \quad \text{OK}$$

• Vizsgálat a kiékelésnél

Nyírási vasalás: $\phi 14/250(27)$

$$\alpha_f := 45\text{fok}$$

$$s_f := 25\text{cm}$$

$$a_{sf.ak} := \frac{(14\text{mm})^2 \pi}{4 \cdot 250\text{mm}} = 616 \cdot \frac{\text{mm}^2}{\text{m}}$$

Anyomott zóna feltételezett dőlésszöge:

$$\theta := 37\text{fok}$$

$$\cot(\theta) = 1.3$$

A keresztmetszet nyírási teherbírása:

$$v_{Rd,s} := \frac{a_{sf,ak}}{s_f} \cdot 0.9 d_{ak} \cdot f_{yd} \cdot (\cot(\theta) + \cot(\alpha_f)) \cdot \sin(\alpha_f)$$

$$v_{Rd,s} = 536 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}} > v_{ak,Ed} = 297 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}} \quad \text{OK}$$

5.3.3. Repedéstágasság ellenőrzése

A repedéstágasságot a legkisebb kihasználtság helyén nem ellenőrizzük.

$$\text{mezőközépen: } \mu_{am} = 0.61 \quad \text{kiékelésnél: } \mu_{ak} = 0.62 \quad \text{keretsarokban: } \mu_{as} = 0.61$$

$$\text{Teher tartósságtól függő tényező: } k_t := 0.5$$

- Vizsgálat mezőközépen**

Hasznos magasság:

$$d_{am'} := d_{am} + 5\text{mm} = 343 \cdot \text{mm}$$

$$\text{Alkalmazott vasalás: } a_{s,am} = 2664 \cdot \frac{\text{mm}^2}{\text{m}}$$

II. feszültségállapot vizsgálata

$$E_{c,eff,40} \cdot \kappa \cdot \frac{y_{II}^2}{2} + n_{am,gye} = \kappa \cdot (d_{am'} - y_{II}) E_s \cdot a_{s,am}$$

$$E_{c,eff,40} \cdot \kappa \cdot \frac{y_{II}^3}{3} + n_{am,gye} \cdot \left(y_{II} - \frac{v_{al}}{2} \right) + \kappa \cdot (d_{am'} - y_{II})^2 E_s \cdot a_{s,am} = m_{am,gy}$$

$$\kappa = 4.5 \times 10^{-6} \cdot \frac{1}{\text{mm}} \quad y_{II} = 131.5 \cdot \text{mm} > \min(50\text{mm}, 0.2v_{al}) = 50 \cdot \text{mm} \quad \text{OK}$$

Acélfeszültség:

$$\sigma_s := \kappa \cdot (d_{am'} - y_{II}) \cdot E_s = 189 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Hatékony húzott betonzóna:

$$a_{c,eff} := \min \left[2.5(v_{al} - d_{am'}), \frac{v_{al} - y_{II}}{3}, \frac{v_{al}}{2} \right] = 895 \cdot \frac{\text{cm}^2}{\text{m}}$$

Húzott acélhányad:

$$\rho_{s,eff} := \frac{a_{s,am}}{a_{c,eff}} = 0.030$$

Acélhnyúlás:

$$\Delta \epsilon_{sm} := \max \left[\frac{\sigma_s - k_t \cdot \frac{f_{ctm,40}}{\rho_{s,eff}} \cdot (1 + \alpha_{st} \cdot \rho_{s,eff})}{E_s}, 0.6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} \right] = 0.00057$$

Repedéstávolság:

$$s_{r,max} := 3.4c_s + 0.8 \cdot 0.5 \cdot 0.425 \cdot \frac{14\text{mm}}{\rho_{s,eff}} = 216 \cdot \text{mm}$$

Repedéstágasság:

$$w_k := \Delta \epsilon_{sm} \cdot s_{r,max} \quad w_k = 0.12 \cdot \text{mm} < 0.2 \text{ mm} \quad \text{OK}$$

- Vizsgálat a kiékelésnél**

Hasznos magasság:

$$d_{ak'} := d_{ak} + 5\text{mm} = 343 \cdot \text{mm}$$

Alkalmazott vasalás: $a_{s.ak} = 1433 \cdot \frac{\text{mm}^2}{\text{m}}$

II. feszültségállapot vizsgálata

$$E_{c,eff.40} \cdot \kappa \cdot \frac{y_{II}^2}{2} + n_{ak.gye} = \kappa \cdot (d_{ak'} - y_{II}) E_s \cdot a_{s.ak}$$

$$E_{c,eff.40} \cdot \kappa \cdot \frac{y_{II}^3}{3} + n_{ak.gye} \cdot \left(y_{II} - \frac{v_{al}}{2} \right) + \kappa \cdot (d_{ak'} - y_{II})^2 E_s \cdot a_{s.ak} = m_{ak.gy}$$

$$\kappa = 2.6 \times 10^{-6} \cdot \frac{1}{\text{mm}} \quad \boxed{y_{II} = 117.8 \cdot \text{mm}} > \min(50\text{mm}, 0.2v_{al}) = 50 \cdot \text{mm} \quad \text{OK}$$

Acélfeszültség:

$$\sigma_s := \kappa \cdot (d_{ak'} - y_{II}) \cdot E_s = 115 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Hatékony húzott betonzóna:

$$a_{c,eff} := \min \left[2.5(v_{al} - d_{ak'}), \frac{v_{al} - y_{II}}{3}, \frac{v_{al}}{2} \right] = 941 \cdot \frac{\text{cm}^2}{\text{m}}$$

Húzott acélhányad:

$$\rho_{s,eff} := \frac{a_{s.ak}}{a_{c,eff}} = 0.015$$

Acélnyúlás:

$$\Delta \epsilon_{sm} := \max \left[\frac{\sigma_s - k_t \cdot \frac{f_{ctm.40}}{\rho_{s,eff}} \cdot (1 + \alpha_{st} \cdot \rho_{s,eff})}{E_s}, 0.6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} \right] = 0.00035$$

Repedéstávolság:

$$s_{r,max} := 3.4c_s + 0.8 \cdot 0.5 \cdot 0.425 \cdot \frac{14\text{mm}}{\rho_{s,eff}} = 292 \cdot \text{mm}$$

Repedéstágasság:

$$w_k := \Delta \epsilon_{sm} \cdot s_{r,max} \quad \boxed{w_k = 0.10 \cdot \text{mm}} < 0.2 \text{ mm} \quad \text{OK}$$