

MŰSZAKI SZEMLE
69. szám, 2017.

Szerkesztőbizottság elnöke /
President of Editing Committee

Dr. Köllő Gábor

Szerkesztőbizottság tagjai /
Editing Committee

Dr. Balázs L. György – HU
Dr. Barabás István – RO
Dr. Biró Károly Ágoston – RO
Dr. Csibi Vencel-József – RO
Dr. Fedák László – UA
Dr. Karácsony János – RO
Dr. Kása Zoltán – RO
Dr. Kontra Jenő – HU
Dr. Majdik Kornélia – RO
Dr. Nagy László – RO
Dr. Péics Hajnalka – RS
Dr. Sebestyén-Pál György – RO
Dr. Szalay György – SK
Dr. Turchany Guy – CH
Dr. Zsuga Miklós – HU

Kiadja / Editor

Erdélyi Magyar Műszaki
Tudományos Társaság – EMT
Societatea Maghiară Tehnico-Științifică
din Transilvania
Ungarische Technisch-Wissenschaftliche
Gesellschaft in Siebenbürgen
Hungarian Technical Scientific Society
of Transylvania

Felelős kiadó / Managing Editor

Dr. Köllő Gábor

A szerkesztőség címe / Address

Romania
400604 Cluj, Kolozsvár
B-dul 21. Decembrie 1989., nr. 116.
Tel/fax: 40-264-590825, 594042
Levélcím: RO – 400750 Cluj, C.P. 1-140.

Nyomda / Printing

Incitato Kft.

ISSN 1454-0746

www.emt.ro

emt@emt.ro

Tartalomjegyzék – Content – Cuprins

A vasúti pályageometria felmérése modern földmérési eszközökkel
Survey of Railway Track Geometry With Modern Land Surveying Tools
Diagnosticarea geometriei căii folosind instrumente topografice moderne
ERDÉLYI Marcell, KÖLLŐ Gábor **3**

Vasúti betonfalas és betonlemez felépítményszerkezetek
Railway Ballasted and Ballastless Superstructures
Suprastructuri de căi ferate cu traverse și plăci de beton
KÖLLŐ Szabolcs Attila, KÖLLŐ Gábor **19**

Vasúti együttdolgozó acél-beton hídszerkezetek számítógépes tervezése
a NEWLINE CSD program segítségével
Composite Steel-concrete Bridges Design with NEWLINE CSD Software
Proiectarea podurilor în structură mixtă oțel-beton cu ajutorul programului
NEWLINE CSD
ORBÁN Zsolt László, KÖLLŐ Gábor **36**

A vasúti pályageometria felmérése modern földmérési eszközökkel

Survey of Railway Track Geometry With Modern Land Surveying Tools

Diagnosticarea geometriei căii folosind instrumente topografice moderne

ERDÉLYI Marcell, Dr. KÖLLŐ Gábor

Kolozsvári Műszaki Egyetem,
Memorandumului utca 28-as szám, 400114 Kolozsvár
tel.: +40 264 401 200, fax. +4 0264 592 055, <http://www.utcluj.ro/>

ABSTRACT

The effects of technical IT development provides constant renewal and development opportunities for each specializing areas. For this reason it can be not left out from among this the developmental activities in the transport field of railway tracks. As a result, will presented the modern methods and procedures used in classical land surveying and the tools and instruments needed for their application, which will help to solve easier and more efficiently the problems of curve alignment. The publication ends with the description of a self-developed automated technology and with conclusions.

ÖSSZEFOGLALÓ

A műszaki informatikai fejlődés minden szakterületre való hatása állandó megújulási-fejlesztési lehetőségeket kínál fel. Ez a fejlődés nem maradhat el a közlekedési szakterület vasúti pályákra vonatkozó tevékenységek sorából sem. Ennek hatására a továbbiakban a klasszikus földmérésben használt modern módszereket és eljárásokat, valamint az ezek alkalmazásához szükséges eszköz- és műszerháttér bemutatása kerül sorra, mely a vasúti pályák ívszabályozása terén előforduló problémák könnyebb és hatékonyabb megoldására szolgál. A publikáció egy saját fejlesztésű automatizált technológia leírásával, majd a következtetésekkel zárul.

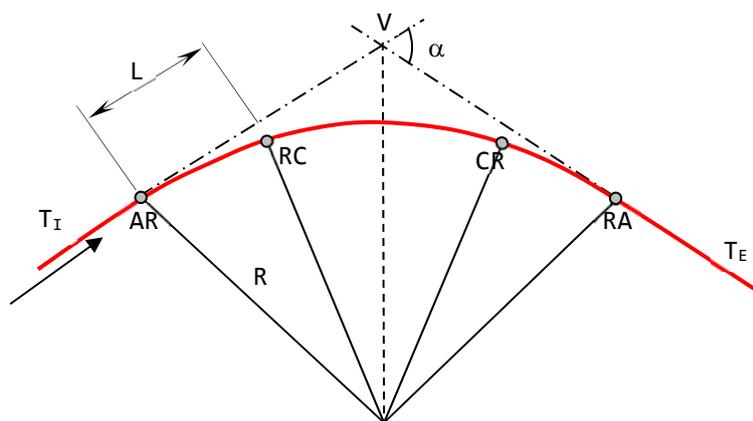
1. BEVEZETÉS

A vasúti pályák állandó használata miatt a pálya egyenesek, és főképp a pálya ívek torzulásokat szenvednek. Ezek nem csak kényelmi szempontból, de közlekedés biztonsági okokból is veszélyesek lehetnek. A pályafenntartás egyik legfontosabb feladata tehát a vágányszakaszok ívszabályozása.

A vasúti íveket csoportosíthatjuk a következőképpen:

- az ív fajtája szerint: állandó sugarú körívek, változó sugarú átmeneti ívek;
- az ív síkban való ábrázolása szerint: egyszerű egysugarú ívek (átmeneti ívvel vagy anélkül), összetett ívek (több egyszerű ív összessége);
- a haladási irány szerint: jobbos ívek (az ív középpontja jobb oldalon van), balos ívek (az ív középpontja bal oldalon van).

A gyakorlatban leggyakrabban használt ívszabályozási módszer a húrméréses szögmérési eljárás grafikus módszere. Célja az eltorzult helyzetű ívből egy kifogástalan fekvésű ívpálya létrehozása.



V – csúcshög; T_I – bemeneti tangens; T_E – kimeneti tangens; AR – egyenes-átmenetiív;
 RC – átmenetiív-körív; CR – körív-átmenetiív; RA – átmenetiív-egyenes;
 α – kitérő szög; L – átmenetiív hossza; R – körív sugara

1. ábra. A vasúti pályaív alkotó részei

2. A GYAKORLATBAN ALKALMAZOTT PÁLYAGEOMETRIA VIZSGÁLATA

A vágány fekvésének rögzítése húrméréssel történik. Az ívkiigazítás ezen fázisának elvégzéséhez leg-
 alább négy ember összehangolt munkája szükséges.

A húrmérés előkészítése során az ív külső sínszálán zsíros krétával maradandó osztáspontokat jelölnek meg Δl távolságban. A húrmérést $2\Delta l$ hosszú húrral végzik zsinóros húrmagasságmérőt, valamint tolómércét használva (2. ábra). A húrmagasság mérést minden osztáspontnál elvégzik, majd a kapott értékeket jegyző-
 könyvbe analóg módon beírva rögzítik.



2. ábra. A húrmérés folyamatának lépései és felhasznált eszközei

A jelenkori technológia által felkínált informatikai megoldásokat felhasználva történik az adatfeldolgozás. Előfeldolgozásként a hűmérési jegyzőkönyvben beírt mért adatokat, mint kiinduló adatok, analóg-digitális adatkonverzió során, egy táblázatszerkesztő program segítségével (pl. Excel), egy adattárba viszik be. Ezek után a hűmérési szövegjelzés grafikus módszerének lépéseit követve a megcélzott eredményeket (vágányeltolásokat) számolják ki a megfelelő matematikai modellt használva.

A módszer alkalmazása biztosítja a megcélzott probléma megoldását, ugyanakkor nem alkalmazza a pozicionálási adatgyűjtés digitális technológiái által felkínált lehetőségeket és csak részben használja az adatfeldolgozás jelenkori informatikai lehetőségeit.

3. A FÖLDMÉRÉSI TECHNOLÓGIÁK ALKALMAZÁSA A VASÚTI PÁLYAGEOMETRIA MEGHATÁROZÁSÁBAN

A jelenkori földmérési technológiák célkitűzései:

- a pozicionálási adatgyűjtési technológiák által felkínált lehetőségek kihasználása az ív pillanatnyi helyzetének meghatározásában
- az adatfeldolgozás a jelenleg elérhető színvonalra emelése
- az analóg-digitális adatkonverzió kiküszöbölése a digitális adatrögzítés útján
- különböző számítási lépések közti kézi vezérlésű adatkommunikáció helyettesítése kompatibilis adattárak alkalmazásával
- egységes adatfeldolgozási program kidolgozása, amely biztosítja a gyűjtött adatok feldolgozását és a céleredmények elérését az ismert matematikai modell alapján.

A földmérési szakma alapfeladata a pozicionálás, mely a vasúti ívek pozicionálása esetén is alkalmazható.

A pozicionálás egy pontnak egy választott ortogonális referencia rendszerben való helyzetének meghatározását jelenti. Egy 3D-s térben a pontnak három mozgási szabadságfoka van, amelyeket a pozicionálás érdekében ki kell küszöbölni. Ennek eléréséhez egy pontra vonatkozóan három mért adatra van szükség, melyeket a választott referencia rendszerben az adatgyűjtés során kapunk meg.

A pozicionálás alapelvei a tér méretétől és az alkalmazott módszerektől függetlenek, és a következőképpen fogalmazhatóak meg:

- egy pont pozicionálása két szakaszból áll: adatgyűjtés és az adatok feldolgozása
- egy új pont pozíciója már korábban pozicionált pontok helyzetéből kiindulva kapható meg, melyhez hozzáadódnak a mért koordinátákból számított pozíciókülönbségek:

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} X_0 \\ Y_0 \\ Z_0 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{pmatrix}$$

- a koordináták meghatározásához szükséges adatgyűjtés során kötelező a már pozicionált ismert pont közvetlen átláthatóságának (kapcsolat) biztosítása, a mérendő pont felé (3. ábra).



3. ábra. Az átláthatóság feltétele

- a gyűjtött adatok feldolgozása a megfelelő matematikai és sztohasztikus modellek felhasználásával történik, melyeket az asztronómia, geodézia, topográfia, fotogrammetria, kartográfia és gravimetria fejlődése során lettek fejlesztettek ki.

A felsorolt elvek érvényesek az összes pozicionálási módszerre, amit a továbbiakban ismertetek. Az adatgyűjtési és adatfeldolgozási módszereket a pozicionálási módszerek határozzák meg, melyek közül az alábbiakat mutatom be:

- geodéziai-topográfiai módszerek
- fotogrammetriai módszerek
- műholdas GNSS módszerek
- 3D-s szkennelési módszerek.

3.1. A pontok pozicionálása a geodézia és topográfia terén

Egy pont pozicionálása egy megfelelően választott referencia koordináta-rendszerben, általános esete a geodéziai és topográfiai megoldásoknak. A 3D-s teret három szabadságfok jellemzi. A három szabadságfok rögzítése a pont pozicionálását biztosítja, három mennyiség (koordináták) formájában. Annak érdekében, hogy meghatározzuk ezeket a mennyiségeket, legalább három ismert adatra van szükség. A gyakorlati geodéziában és topográfiaiban a gyűjtött adatok a poláris koordináták $C_p(S H V)$. Ezen mennyiségek méréséhez használt eszközök pedig a teodolitok és tahiméterek. Ezek közül is a napjainkban leggyakrabban használt mérőműszerek az ún. elektronikus tahiméterek, más néven mérőállomások (4. ábra).



4. ábra. Különböző típusú mérőállomások

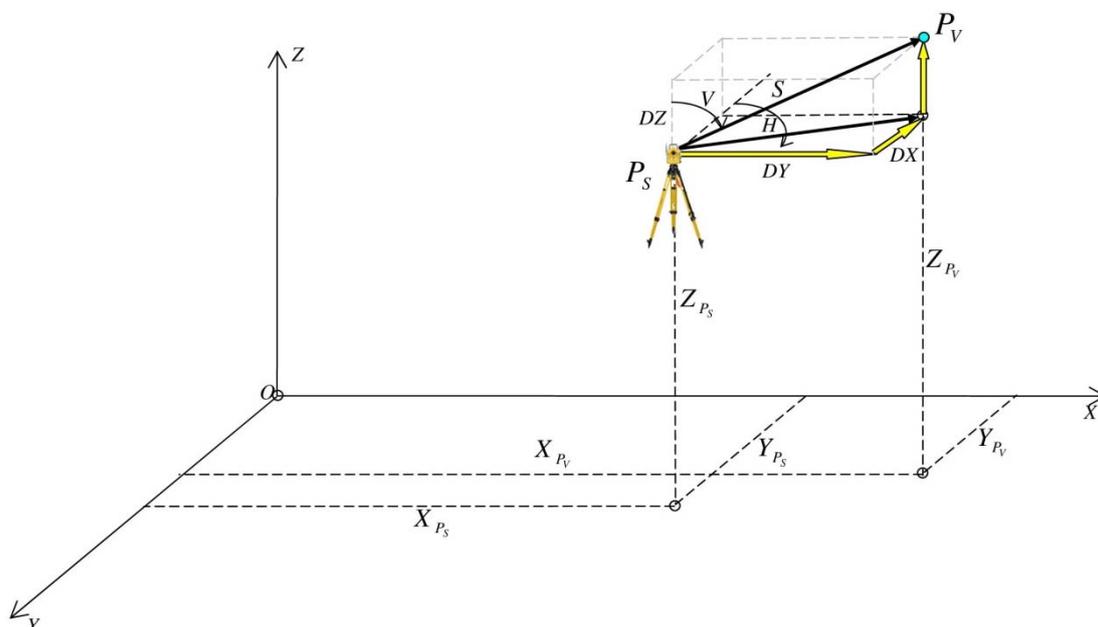
A mérőállomások saját memóriaközponttal és egy külső memóriával rendelkeznek, valamint egy sor specifikus számítási programmal is, melyek a különböző geodéziai és topográfiai munkák elvégzését könnyítik meg. A mérőállomások a gyűjtött adatok digitális adattárakba való tárolását és ezáltal az adatfeldolgozás automatizálását biztosítják.

A mérőállomások nem csak távolságok, vízszintes- és függőleges szögek, szintkülönbségek mérésére alkalmasak, hanem az alábbi funkcióval is rendelkeznek:

- egy sor, közvetlenül a terepen elvégezhető ellenőrzés és számítás is elvégezhető;
- a mért adatok automatikus tárolása;
- a mért adatok automatikus továbbítása adatfeldolgozó perifériára;
- a feldolgozott adatok átalakítása és megjelenítése grafikus formában (CAD)

A műszer koordináta rendszerében kifejezett mért adatok jelentése a következő:

- S : az álláspont P_S és mért pont P_V közti ferde távolság;
- H : a referencia irány ($P_S - X$ tengely) és a célzott irány ($P_S - P_V$) közti vízszintes szög;
- V : az álláspont helyi függőlegese és a célzott irány közti függőleges szög;
- A gyűjtött adatok és pozicionált koordináták közti összefüggést az 5. ábra szemlélteti.



5. ábra. A geodéziai és topográfiai pontmeghatározás módszerének elve

A koordináták számításának általános matematikai modelljét a mért adatok (S, V, H) és a ($\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$) koordináta különbségek közti összefüggés határozza meg:

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} X_0 \\ Y_0 \\ Z_0 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{pmatrix} \quad \begin{pmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{pmatrix}_{P_S-P_V} = \begin{pmatrix} \sin V \cdot \cos H \\ \sin V \cdot \sin H \\ \cos V \end{pmatrix}_{P_S-P_V} * S$$

3.2. A pontok pozicionálása a fotogrammetriában

A fotogrammetria, a modern tudomány egyik összetevője, biztosítja a valós világ geometriai tulajdonságainak elméleti és gyakorlati meghatározását az arról készült fényképek alapján. Az 1-100m-ről készített fényképek felhasználása az ún. közelfotogrammetria terén kerül sorra. A fotogrammetria ezen ágát a világon széles körben használják a valós világ bármely összetevőjének pontos felmérésére. Ugyanakkor a közelfotogrammetria alkalmazható ezek időbeli mozgásvizsgálatára és esetleges deformációinak követésére.

A fotogrammetriai munkák eredményei közül egy választott derékszögű koordináta rendszerben pozicionált pontok pozicionálási értékeire $C_R(X Y Z)$ fektetjük a hangsúlyt. A digitális közel fotogrammetria pozicionálási módszere a többszörös transzformációkon alapszik, a következőképpen:

- a valós világ összetevői a 3D-s térben találhatóak és pontjainak helyzetét a $C_R(X Y Z)$ még ismeretlen koordináták határozzák meg
- az adatgyűjtés digitális fényképek készítésével valósul meg. A fénykép egy 2D-s perspektivikus ábrázolás, melyet a valós világ összetevőit alkotó 3D-s térben elhelyezkedő pontok levetítésével kapunk. A pontok helyzetét a fénykép síkjában a fénykép rendszerében $C_F(x y)$ megadott derékszögű síkkoordináták határozzák meg:

$$(\text{Valós világ összetevője})_{3D} \xrightarrow{\text{Digitális fényképezés}} (\text{Digitális fénykép})_{2D}$$

$$C_R(X Y Z)_{3D} \text{ koordináták} \xrightarrow{\text{Központi perspektív vetítés}} C_F(x_1 y_1)_{2D}, C_F(x_2 y_2)_{2D} \text{ koordináták}$$

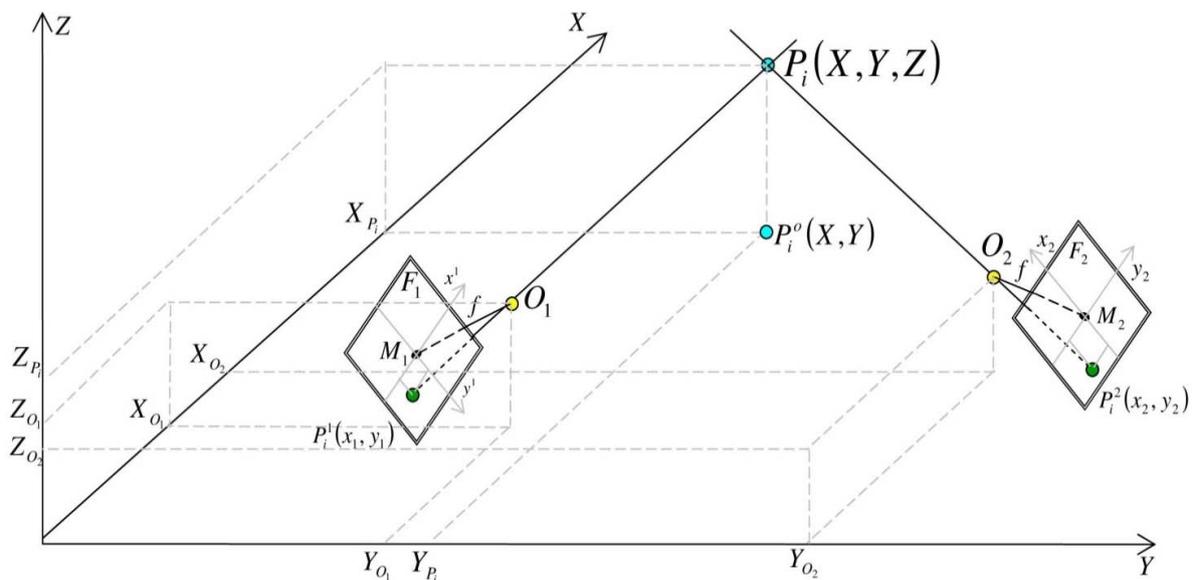
- az adatfeldolgozás biztosítja a pontok ismeretlen $C_R(X, Y, Z)$ koordinátáinak meghatározását a fényképen mérhető $C_F(x, y)$ koordináták alapján:

$$C_F(x, y)_{2D} \xrightarrow{\text{Adatfeldolgozás}} C_R(X, Y, Z)_{3D}$$

Az előbbi összefüggésnek nincs egyértelmű megoldása: két ismert adatból nem lehet egyértelműen kiszámolni egy pontot meghatározó három ismeretlent. A probléma kiküszöbölésére szükség van minimum még egy készített fényképre. Ebben az esetben a fenti összefüggést felhasználva az alábbi írható fel:

$$\left. \begin{array}{l} C_{F_1}(x, y)_{2D} \\ C_{F_2}(x, y)_{2D} \end{array} \right\} \xrightarrow{\text{Adatfeldolgozás}} C_R(X, Y, Z)_{3D}$$

A fotogrammetriai módszereken alapuló helymeghatározás általános sémáját az 6. ábra szemlélteti.



6. ábra. A fotogrammetriai pozicionálás elve

$(X, Y, Z)_i$: a P_i pont koordinátái a választott 3D-s referencia rendszerben

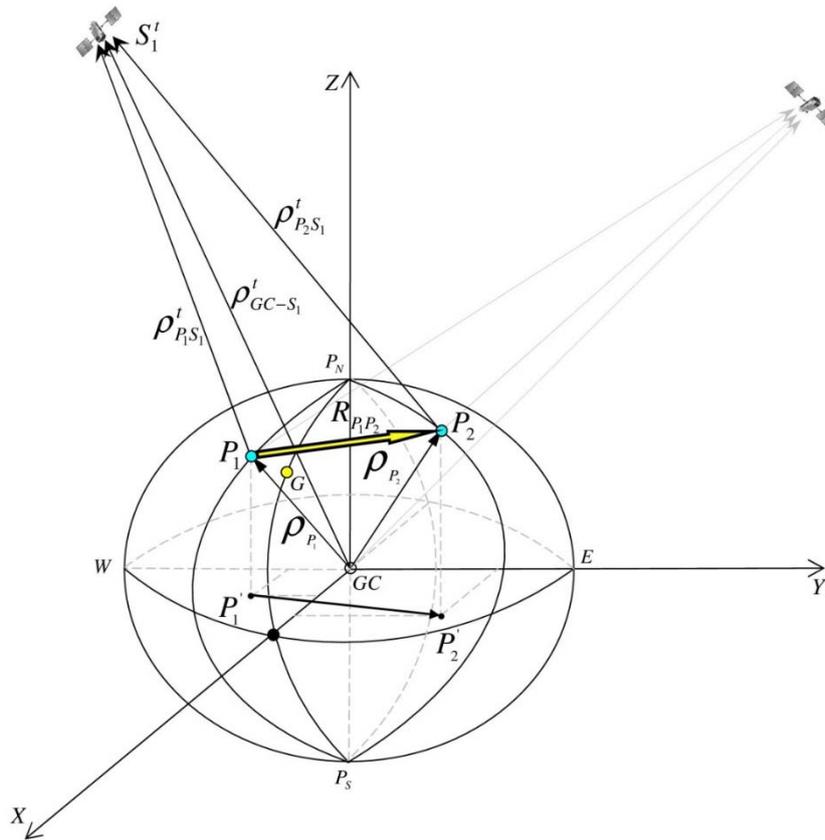
$(X, Y, Z)_{o_1, o_2}$: a két fénykép vetítési központjának koordinátája a referencia rendszerben

$(x_1, y_1, f, x_2, y_2, f)_i$: a P_i pont koordinátái a két F_1, F_2 fénykép referencia rendszerében

T : a három referencia rendszer közti kapcsolatot biztosító függvény

3.3. A pontok helymeghatározása műholdas GNSS technológiával

A GNSS műholdas helymeghatározó rendszer egy olyan modern technológiai rendszer, amely a megfelelő összetevőket és módszereket felhasználva pontos pozicionálást biztosít jelentős korlátozások nélkül. A GNSS módszer segítségével egy pont helyzetét egy 3D-s ortogonális geocentrikus referencia rendszerben meghatározható, ha ismertek egy t időben a műholdak koordinátái és ugyanabban a t időben a mért pont és a műholdak közti távolság. A módszer elvét a 7. ábra szemlélteti.



7. ábra. A műholdas helymeghatározás elve

$$\bar{\rho}_{P_1} + \bar{\rho}_{P_1S_1}^t = \bar{\rho}_{GC-S_1}^t \Rightarrow \bar{\rho}_{P_1} = \bar{\rho}_{GC-S_1}^t - \bar{\rho}_{P_1S_1}^t \Rightarrow \bar{\rho}_{P_1} = \bar{\rho}_{GC-S_1}^t - \bar{\rho}_{P_1S_1}^t + \varepsilon^t$$

$\bar{\rho}_{P_1}$ → a P_1 pontban felállított vevő pozícióvektora
 $\bar{\rho}_{P_1S_1}^t$ → a GPS vevő és S_1 műhold közti távolság t időben
 $\bar{\rho}_{GC-S_1}^t$ → az S_1 műhold pozícióvektora t pillanatban

$$\bar{\rho}_{P_2} + \bar{\rho}_{P_2S_1}^t = \bar{\rho}_{GC-S_1}^t \Rightarrow \bar{\rho}_{P_2} = \bar{\rho}_{GC-S_1}^t - \bar{\rho}_{P_2S_1}^t \Rightarrow \bar{\rho}_{P_2} = \bar{\rho}_{GC-S_1}^t - \bar{\rho}_{P_2S_1}^t + \varepsilon^t$$

$$\bar{\rho}_{P_1} + \bar{R}_{P_1P_2} = \bar{\rho}_{P_2} \Rightarrow \bar{R}_{P_1P_2} = \bar{\rho}_{P_2} - \bar{\rho}_{P_1}$$

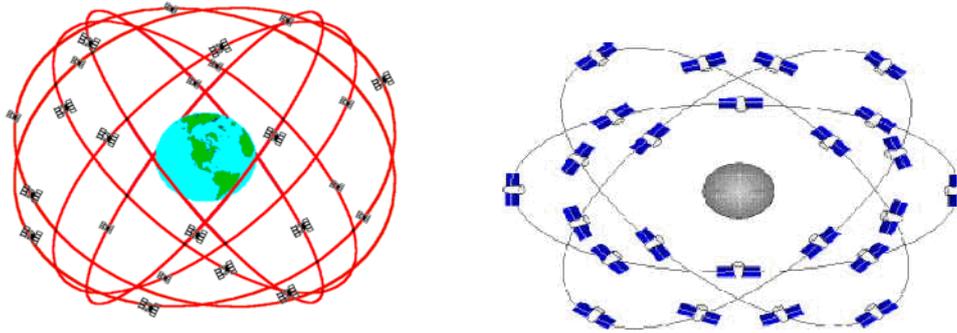
$$\bar{R}_{P_1P_2} = \bar{\rho}_{GC-S_1}^t - \bar{\rho}_{P_2S_1}^t + \varepsilon^t - \left(\bar{\rho}_{GC-S_1}^t - \bar{\rho}_{P_1S_1}^t + \varepsilon^t \right)$$

$$\bar{R}_{P_1P_2} = \bar{\rho}_{P_1S_1}^t - \bar{\rho}_{P_2S_1}^t$$

A módszer tehát a térbeli metszéseken alapul: egy pontból minimum három műhold felé kell távolságmérést végezni. A gyakorlatban viszont, az időmérés minőségi különbségeiből származó hibák kiküszöbölésére, minimum négy műhold felé mért távolságra van szükség.

A műholdas helymeghatározás a következő elveket követve alakult ki:

- a pontok pozicionálása egy derékszögű geocentrikus koordináta-rendszerben (WGS84) történik
- a helymeghatározó rendszert alkotó ismert ponthálózatot műholdak alkotják, melyek az alábbi konfigurációkban működnek bizonyos alrendszerekben (8. ábra):



8. ábra. A műholdak keringési pályáinak ábrája

- t pillanatban a műholdak helyzete rögzítettnek vehető
- a műholdas helymeghatározás, egy t időben, a műholdak által küldött és a GPS vevő által fogadott jelek áramlását jelenti
- a jelek megfelelő feldolgozása révén megvalósul a vevő és műhold közti térbeli távolság meghatározása
- az álláspont koordinátái kiszámíthatóak, felhasználva minimum négy műhold ismert helyzetét és az ezek felé mért távolságokat.

3.4. A pontok helymeghatározása térszkennelési módszerekkel

A térszkennelés egy olyan pozicionálási eljárás, amely során a valós világ egyik összetevőjének folyamatos felületén a használt mérőeszköz referencia rendszerében egy ponthalmaz helyzete határozható meg. Ezt a bizonyos struktúrával és sűrűséggel (felbontás) rendelkező ponthalmazt pontfelhőnek, az eszközt pedig, aminek a segítségével létrejön a pontfelhő, szkennereknek nevezzük.

A térszkennelési eljárások az utóbbi időben történt technológiai és informatikai fejlődéssel jöttek létre, melyek az alábbi elvekre támaszkodnak:

- a térszkennelés az elektromágneses fénysugarak használatán alapszik, melyek lehetnek lézer- vagy látható spektrumú sugarak
- a pontok pozicionálása a térszkennelés során hasonló a már bemutatott geodéziai és topográfiai módszerekéhez
- térszkennelő rendszerek lehetnek aktív vagy passzív rendszerek:
 - az aktív rendszerek esetében lézersugarakat bocsájt ki, melyek a mérendő felületet elérve visszaverődnek, és a visszavert sugarakat rögzítik. A leadott és fogadott sugarak megfelelő feldolgozása révén megkapjuk a pontokra vonatkozó pozicionálási adatokat. A műszer, mely képviseli az aktív rendszereket, a lézer szkennerek (9. ábra).



9. ábra. Az aktív térszkennelési rendszerek összetevői

- a passzív rendszerek a látható spektrumú fénysugarakat használják a pontok helyzetének rögzítésére, a digitális fényképek révén. A fényképek megfelelő feldolgozása eredményeként megkapjuk a pontokhoz tartozó koordinátákat. Ezeket a passzív rendszereket a fotogrammetriai szkennerek képviselik (10. ábra).



10. ábra. A passzív térszkennelési rendszerek összetevői

- a térszkennelés eredménye a használt műszer referencia rendszerében pozicionált pontfelhő
- a nagy mennyiségű (millió nagyságrend) mért pont megköveteli az automatizált adatfeldolgozási rendszerek használatát, melyek képesek hatékonyan kezelni ezt az adattömeget, a megfelelő fizikai (hardware) és logikai (software) összetevők révén.
- a meghatározó termékek, a pontfelhőket felhasználva, a nagy pontosságú térmodellek (11. ábra).



11. ábra. Egy vasúti pályaszakasz nagy pontosságú fotorealisztikus térmodellje

4. A PÁLYAGEOMETRIA DIAGNOSZTIKÁJÁRA KIFEJLESZTETT AUTOMATIZÁLT TECHNOLOGIA

Mint minden technológia, ez a saját fejlesztésű technológia is négy komponensből tevődik össze:

- technikai: robot mérőállomás, prizmahordozó robot
- humán: megfelelő szintű tudással és tapasztalattal rendelkező földmérő mérnök
- informatikai: matematikai modellek és módszerek az ívkiigazítás megoldására, egyéni fejlesztésű adatfeldolgozó software
- szervezési: terepi és irodai tevékenységek együttesének egybehangolása.

A pályageometria meghatározásának első lépése az adatgyűjtés. Ennek során a vizsgált ívszakaszon, megfelelő sűrűségű pontokat mérünk, amelyek a legjobban leírják az ívet. A teljesen automatizált adatgyűjtés a már említett, kétkomponensű technikai összetevők felhasználásával valósul meg (12. ábra). A robot mérőállomásra vonatkozó jellemzők és működési elvének részletes leírása egy korábbi számban található meg (lásd: Műszaki szemle 64/2014 szám, 13-14 oldal).



12. ábra. Az adatgyűjtő rendszer működés közben

Figyelembe véve a megcélzott megoldandó feladatok jellegét és technikai feltételeit, egy olyan prizmahordozó robotot terveztem és építettem meg, amely megfelel ezen követelményeknek, ugyanakkor a mai technológiával lépést tartva, az általa felkínált technikai és műszaki lehetőségek tárházát is igénybe veszi. Ez a robot a **PRICARRO (Prism Carrier Railway Robot)** nevet kapta.

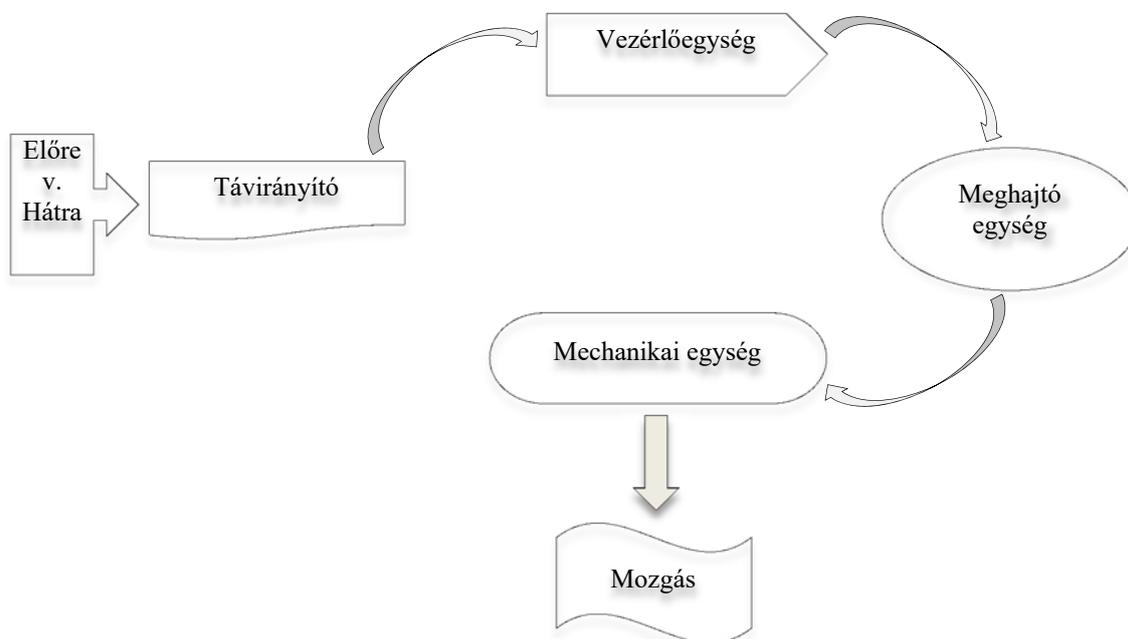
A Pricarro képes egy beépített motor és egy rádiótávvezérlő segítségével önállóan elindulni, megállni, előre/hátra közlekedni. Ugyanakkor, a robot mérőállomáshoz tartozó aktív prizma, illetve annak működését biztosító áramforrás szállítása is a feladatkörébe tartozik. A prizma helye a prizmahordozó roboton, a sínszál belső oldalának síkjával esik egybe, így oldva meg a mérés során a sín pontos helyzetének meghatározását. A robot ugyanakkor egy sor olyan feltételnek is eleget tesz, melyek a működési időtartamra és hatótávolságra vonatkoznak.

A Pricarro célirányos működése a 13. ábra alapján az alábbi fizikai összetevők révén valósul meg: meghajtó egység (I), mechanikai egység (II), vezérlő egység (III), távirányító (IV), akkumulátor (V), akkumulátor töltő (VI), aktív prizma és az azt működtető akkumulátor (VII).



13. ábra. A prizmahordozó robot fizikai összetevői

A szerkezet mozgása két görgőn történik, amelyek a sín felületén fekszenek. A stabilitást biztosító rugók szerepe az, hogy a robotnak három pontos illeszkedést biztosítsanak a sínszálon. A meghajtást egy elektromos motor biztosítja, mely egy görgő meghajtása révén forgó mozgásból lineáris mozgást biztosít. A motor működését a vezérlőegységen keresztül a távirányítóval lehet szabályozni, előre/hátra haladási irány megválasztásával.



14. ábra. A prizmahordozó robot működési folyamatábrája

A már pozicionált pontok koordinátáinak felhasználásával a gyakorlatban alkalmazott ívkiiigazítási módszer elvégezhető egy általam írt program segítségével. A software a **RACUCALC(Railway Curves Calculator)** nevet kapta. A **DELPHI7** programozási nyelvben írt program képes kiszámolni és bemutatni az ívkiiigazítás eredményeit anélkül, hogy a felhasználó előzetes számításokat végezne.

A kiinduló adatok lehetnek:

- klasszikusan mért húrmagasság jegyzék
- pozicionált pontok koordinátái.

A program két megoldási eljárást kínál a felhasználónak:

I. Az első eljárás a hagyományos matematikai modellekre és módszerekre épül, kiinduló adat a húrmagasság, ami lehet mért (hagyományosan) vagy számított (koordinátákból). Mért koordináták esetén a program az ív helyzetét meghatározó pozicionálási pontokon keresztül a hűrok automatikus generálását végzi.(lásd: Műszaki szemle 64/2014 szám, 14-15 oldal).

II. A második eljárás a kiegyenlítő görbék matematikai modelljét alkalmazza kizárólag a mért koordináták felhasználásával. Ez az eljárás a mérnökgeodéziai gyakorlatban már jól ismert kiegyenlítő kör módszerén alapszik. Ha ezt a módszert más görbékre is alkalmazzuk, pl. valamely k -ad fokú polinom függvényekre, akkor a kiegyenlítő görbék sikeresen felhasználhatóak a vágányeltolások meghatározásában, mivel az átmeneti íveket bizonyos fokú függvényekkel írhatjuk le.

A továbbiakban a kiegyenlítő kör bemutatása kerül sorra. Egy megfelelően választott vonatkoztatási rendszerben értelmezett kiegyenlítő kör optimálisan illeszkedik a mért (ismert) pontokra. Meghatározásához három ismeretlen számítása szükséges:

- a középpont koordinátái: x_0, y_0
- a sugár: r

A feladat megoldásához az egyik módszer a legkisebb négyzetek módszere.

Jelen esetünkben, a vasúti pályaivek felmérésénél földmérési technológiával pozicionált pontok koordinátáiból indulunk ki, melyeket megfelelő sűrűséggel mérjük úgy, hogy azok minél jobban leírják az ívet. Ezen pontokon keresztül szerkesztett kiegyenlítő kör paramétereinek kiszámításához két megoldási lehetőséget tárgyalok:

A. Az első számítási megoldás a paraméteres egyenleteket felhasználva a következő lépésekben történik:

- a kör középpontja koordinátáinak és sugarának előzetes közelítő értékeinek számítása az (1), (2), (3) kifejezésekkel:

$$x_{mp} = \frac{m_{ij}x_{ij} - m_{jk}x_{jk} - y_{ij} + y_{jk}}{m_{ij} - m_{jk}} \quad (1)$$

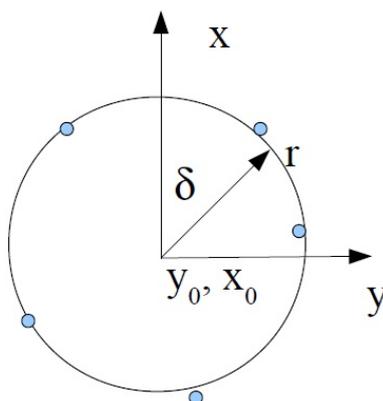
$$y_{mp} = m_{ij}(x_{mp} - x_{ij}) + y_{ij} \quad (2)$$

$$r_{mp} = \frac{\sum_{i=1}^3 \sqrt{(x_{mp} - x_i)^2 + (y_{mp} - y_i)^2}}{3} \quad (3)$$

- az n mért pontokra vonatkozó középponti szögek számítása:

$$\delta_i = \arctan\left(\frac{y_i - y_{mp}}{x_i - x_{mp}}\right) \quad i = 1..n \quad (4)$$

- kiegyenlítés x_0, y_0, r ismeretlenekre iterációs megoldással a kör paraméteres egyenlete alapján (15.ábra). A számítást a legkisebb négyzetek elve szerint végezzük.



15. ábra. A kiegyenlítő kör

A kiegyenlítés menete:

Minden i ponton átmenő kör paraméteres egyenleteiből kiindulva:

$$\begin{cases} x_i = x_0 + r \cdot \cos \delta_i \\ y_i = y_0 + r \cdot \sin \delta_i \end{cases} \quad (5)$$

$$\begin{cases} x_0 + y_0 + r \cdot \cos \delta_i - x_i = 0 \\ x_0 + y_0 + r \cdot \sin \delta_i - y_i = 0 \end{cases} \quad (6)$$

A közvetítő egyenletek nem lineárisak. A végleges értékek kiszámításához egy iterációs folyamatot vezetünk be, amit az x_0, y_0, r előzetes értékei alapján végzünk a következőképpen:

A közvetítő egyenleteket az n pontokra felírva a következő egyenletrendszert kapjuk:

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & \cos \delta_i \\ 0 & 1 & \sin \delta_i \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 1 & 0 & \cos \delta_n \\ 0 & 1 & \sin \delta_n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_0 \\ y_0 \\ r \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -x_1 \\ -y_1 \\ \vdots \\ -x_n \\ -y_n \end{bmatrix} = v \quad (7)$$

$$AX + l = v \quad (8)$$

Ebben a $2n$ egyenletet tartalmazó egyenletrendszerben az ismeretlenek száma 3. Mivel $2n > 3$, az egyenletrendszer megoldásához a legkisebb négyzetek módszerét választottam:

$$[vv] = \min \quad (9)$$

E minimum feladat a normál egyenletrendszer generálásához és megoldásához vezet.

$$\begin{bmatrix} n & 0 & [\cos \delta_i] \\ 0 & n & [\sin \delta_i] \\ [\cos \delta_i] & [\sin \delta_i] & n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_0 \\ y_0 \\ r \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} [-x_i] \\ [-y_i] \\ [-x_i \cos \delta_i - y_i \sin \delta_i] \end{bmatrix} = 0 \quad (10)$$

$$NX + L = 0 \quad (11)$$

Figyelembe véve a normál egyenletrendszer struktúráját, megoldásához a Cramer módszert alkalmaztam. A megoldásokat az alábbi kifejezések adják:

$$\begin{aligned} x_0 &= \frac{\Delta x_0}{\Delta} \\ y_0 &= \frac{\Delta y_0}{\Delta} \\ r &= \frac{\Delta r}{\Delta} \end{aligned} \quad (12)$$

$$\Delta = n^2 - n([\cos \delta_i]^2 + [\sin \delta_i]^2)$$

$$\Delta x_0 = (n^2 - [\sin \delta_i]^2)[x_i] + [\sin \delta_i][y_i] - n[\cos \delta_i][x_i \cos \delta_i + y_i \sin \delta_i] \quad (13)$$

$$\Delta y_0 = [\cos \delta_i][\sin \delta_i][x_i] + (n^2 - [\cos \delta_i]^2)[y_i] - n[\sin \delta_i][x_i \cos \delta_i + y_i \sin \delta_i]$$

$$\Delta r = -n[\cos \delta_i][x_i] - n[\sin \delta_i][y_i] + n^2[x_i \cos \delta_i + y_i \sin \delta_i]$$

Az így kapott x_0 , y_0 , r értékek akkor véglegesek, ha teljesülnek az alábbi feltételek:

$$\begin{aligned} x_0 - x_{mp} &\leq e \\ y_0 - y_{mp} &\leq e, \quad \text{ahol } e - \text{általunk meghatározott határérték} \\ r - r_{mp} &\leq e \end{aligned} \quad (14)$$

Abban az esetben, ha (14) nem teljesül, meg kell ismételni a (4), (12), (13) számításokat oly módon, hogy az ismételt számításokor az előzetes közelítő x_{mp} , y_{mp} , r_{mp} értéket az előző iterációból nyert x_0 , y_0 , r értékekkel helyettesítjük.

Felhasználva a véglegesnek elfogadott értékeket, számíthatóak a v^x , v^y javítások, azaz a vágányeltolások:

$$\begin{aligned} v_i^x &= x_i^v - x_i \\ v_i^y &= y_i^v - y_i \end{aligned} \quad (15)$$

$$\begin{aligned}x_i^y &= x_0 + r \cdot \cos \delta_i \\y_i^y &= y_0 + r \cdot \sin \delta_i\end{aligned}\quad (16)$$

B. A második számítási megoldás a kiegyenlítő kör paramétereinek meghatározására hasonlóan történik az előző esetben leírtak alapján, azzal a különbséggel, hogy mivel lineáris közvetítő egyenleteket használunk, a kör paramétereit közvetlenül a kiegyenesítésből megkaphatjuk, anélkül, hogy a középpont koordinátáknak, illetve a sugárnak előzetes közelítő értékeket számítottunk volna.

Első lépésben tehát kiindulunk a kör lineáris egyenletéből:

$$(x_i - x_0)^2 + (y_i - y_0)^2 = r^2 \quad (17)$$

Figyelembe véve, hogy az egyes pontoknak a kiegyenlítő körtől mért távolsága sugárirányú, ezért a javítási egyenlet a következő alakban írható:

$$(x_i - x_0)^2 + (y_i - y_0)^2 = (r - v_i)^2 \quad (18)$$

Bevezetjük az alábbi jelöléseket:

$$z_0 = -\frac{1}{2}(x_0^2 + y_0^2 - r^2) \quad (19)$$

$$l = -\frac{1}{2}(x_i^2 + y_i^2) \quad (20)$$

$$v' = rv \quad (21)$$

Rendezve a (18) egyenletet, a javítási egyenlet a következő formában jelenik meg:

$$v' = x_i x_0 + y_i y_0 + z_0 + l \quad (22)$$

A kiegyenlítés során alkalmazott legkisebb négyzetek módszerének elvégzése után a kiegyenlített paramétereket az alábbi kifejezések adják:

$$x_0 = \frac{[y_i]^2 [x_i (x_i^2 + y_i^2)] + [x_i y_i] + [y_i (x_i^2 + y_i^2)]}{2([y_i]^2 [x_i]^2 - [x_i y_i]^2)} \quad (23)$$

$$y_0 = \frac{[x_i]^2 [y_i (x_i^2 + y_i^2)] + [x_i y_i] + [x_i (x_i^2 + y_i^2)]}{2([y_i]^2 [x_i]^2 - [x_i y_i]^2)} \quad (24)$$

$$z_0 = \frac{[x_i^2 + y_i^2]}{2n} \quad (25)$$

A kiegyenlítő kör sugara a következő összefüggéssel számítható:

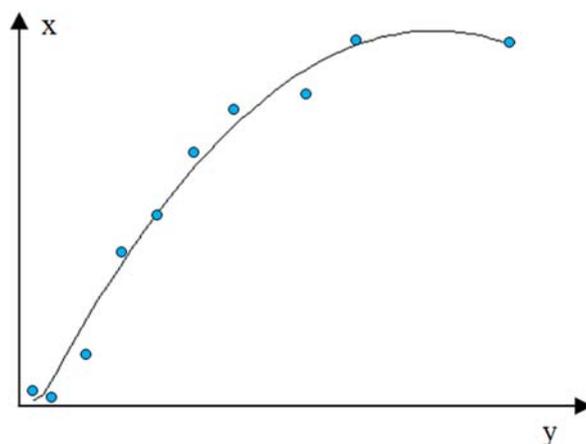
$$r = \sqrt{x_0^2 + y_0^2 + 2z_0} \quad (26)$$

A végleges javítások (vágányeltolások) értékeit pedig az alábbi kifejezés segítségével kapjuk meg:

$$v_i = -\frac{x_i \left(x_0 - \frac{1}{2}x_i\right) + y_i \left(y_0 - \frac{1}{2}y_i\right) + z_0}{r} \quad (27)$$

Abban az esetben, ha a mért pontokon keresztül egy olyan kiegyenlítő görbét szeretnénk szerkeszteni (16. ábra), melyet egy k -ad fokú polinom függvény határoz meg, akkor ennek paramétereit az adott fokú polinom lineáris egyenletéből kiindulva számítjuk ki:

$$y = a_0 + a_1 x + a_2 x^2 + \dots + a_k x^k \quad \text{ahol } k - \text{a polinom foka} \quad (28)$$



16. ábra. A kiegyenlítő parabola

A kiegyenlítő kör lineáris közvetítő egyenletekkel való kiszámításának lépéseit követve, megkaphatóak a keresett k -ad fokú polinom paraméterei.

A vasúti pályáivek szabályozására szolgáló kiegyenlítő görbék gyakorlati alkalmazása három lépésben történik:

- az adatgyűjtés során a vasúti pályáivek külső sínszálának belső felén megfelelő sűrűségű pontokat mérünk. Ez történhet klasszikusan, vagy teljesen automatizált módon, robot mérőállomással és prizmahordozó robottal
- az adatfeldolgozás során kiszámítjuk a mért pontok koordinátáit. A kapott koordináták, a továbbiakban a kiegyenlítő görbék meghatározásában bemenő adatokként szerepelnek. A számítási módszerek alkalmazásának egyik legegyszerűbb módja, ha automatizáljuk őket. Ennek érdekében ezen számítási módszereket programoztuk. Az általam írt program segítségével, a mért koordináták alapján a kívánt kiegyenlítő görbe kiválasztása után, megkapjuk az illető görbe paramétereit, valamint a végleges javítások értékeit. Ezek a javítások a szükséges vágányeltolásokat jelentik
- az eredmények kiértékelése során elemeztük a kapott vágányeltolásokat, a görbe paramétereit, valamint az azokból származtatható görbületi elemeket.

5. KÖVETKEZTETÉSEK

A kifejlesztett technológia a most létező technikai, informatikai lehetőségek figyelembevételével kidolgozott automatizált rendszer, mely minimális emberi beavatkozást igényel. A méréshez szükséges személyek száma négyről akár egyre is csökkenhet, ami a munka hatékonyságának növekedését jelenti.

A kifejlesztett technológia előnyei:

- kiküszöbölődhetnek a jelenleg alkalmazott módszer és az ajánlott módszer közti különbségek: mért adatok gyűjtése és rögzítése, adatáramlás illetve automatizálás
- különösebb, nagy értékű anyagi befektetést nem igényel
- meggyorsítja és megkönnyíti az adatgyűjtés és adatfeldolgozás elvégzését, de az eredmények szempontjából is megbízhatóan lehet ezáltal dolgozni

Elemelve a gyakorlatban alkalmazott modern technológia révén kapott eredményeket kijelenthetjük, hogy a vasúti pályáivek szabályozására javasolt megoldás, a kiegyenlítő görbék használata, matematikai szempontból elfogadható. A gyakorlatban való alkalmazása viszont, a vasúttechnikai szempontokat figyelembe véve, további utólagos elemzéseket kíván meg.

A feldolgozó soft folyamatos fejlesztés alatt áll, nem csak az ívkiigazítás területén, hanem más jellegű, de a vasúti pályák problematikájához kapcsolódó megoldásokkal bővítve azt.

IRODALOMJEGYZÉK

- [1] Erdélyi M.: A kiegyenlítő görbék alkalmazása a vasúti pályaívek szabályozása terén, XVII. Földmérő találkozó, (ISSN 1843-1224), 2016, Déva
- [2] Siki Z: Regresszió számítás mérnökgeodézia feladatokban, Geomatikai közlemények 13:(2) pp. 49-54, 2010
- [3] Csepregi Sz. – Kádár I. – Papp E.: A kiegyenlítő kör meghatározása lineáris közvetítő egyenlettel, Geodézia és kartográfia, 39. Évfolyam, 1.szám, (ISSN 0016-7118), 1987, Budapest
- [4] Köllő G. - Erdélyi M.: Az ívszabályozás egy lehetséges megoldása, XIX. Nemzetközi Építéstudományi Konferencia, (ISSN 1843-2123), 2015, Csíksomlyó
- [5] <http://mathworld.wolfram.com/LeastSquaresFittingPolynomial.html>
- [6] Köllő G. - Erdélyi M.: Az ívszabályozás egy lehetséges megoldása, Műszaki szemle 64. szám, (ISSN 1454-0746), 2014, Kolozsvár
- [7] <http://www.agt.bme.hu/tantargyak/mernlet/mernlet5.pdf>
- [8] <http://www.cg.info.hiroshima-cu.ac.jp/~miyazaki/knowledge/teche23.html>
- [9] Ferencz J. - Erdélyi M.: Az egyszemélyes mérési technológia a TRIMBLE 5605DRS ROBOT mérőállomással, IX. Földmérő találkozó, (ISSN 1843-1224), 2008, Székelyudvarhely
- [10] Nemesdy Ervin: Ívkiegyenlítés, 1964, Budapest
- [11] Ferencz J. - Erdélyi M.: MASTER CAD kft. a technológia fejlődés útján, XV. Földmérő találkozó, (ISSN 1843-1224), 2014, Arad
- [12] <https://www.cn.ca/-/media/Files/Customer-Centre/Track-Specifications/industry-track-inspection-en.pdf>

Vasúti betonaljás és betonlemezes felépítményszerkezetek

Railway Ballasted and Ballastless Superstructures

Suprastructuri de căi ferate cu traverse și plăci de beton

KÖLLŐ Szabolcs Attila, Dr. KÖLLŐ Gábor

Kolozsvári Műszaki Egyetem,
Memorandumului utca 28-as szám, 400114 Kolozsvár
tel.: +40 264 401 200, fax. +4 0264 592 055, <http://www.utcluj.ro/>

ABSTRACT

According to the ballast type, railway track structures can be divided into two main categories. Although the ballasted tracks performed well over the years and thanks to the modernizations, this system is still widely used worldwide, but due to the increased loads in the recent decades, incurred the need to change this track system. Mainly the increase of speed and axle load has forced the railway construction engineers to try finding other solutions in this topic. These challenges in the conventional ballasted track system gave birth to ballastless railway track system, which can ensure very good geometrical stability of the track compared to the ballasted track. This has eliminated the worst characteristics of ballasted track systems, the permanent and uneven deformations due to the loads that lead to the gradual deterioration of the track geometry.

Keywords: ballasted track, ballastless superstructure, concrete sleeper, pre-tensioning, axle load.

ÖSSZEFOGLALÓ

A vasúti pályaszerkezet kialakításánál nagyon fontos kérdés a felépítmény szerkezetének meghatározása, amely közvetlen hatással van az alépítmény (a teherviselő rétegrendszer) megtervezésére.

Természetesen ennek a kérdésnek a megválaszolásában a legfontosabb szempont a vasút üzemvitele, amely a vasút fejlődésével, a közlekedő vontok sebességének és terhelésének növelését igényli.

A forgalmi igénybevételek növekedése volt az a pont, amely arra ösztönözte a vasútépítő mérnököket, hogy kezdjék el egy alternatív módszer kidolgozását, annak érdekében, hogy a hagyományos keresztaljas felépítményeket helyettesíthessék a nagysebességű vasutak igényeit kielégítő pályaszerkezetekkel. Így jelentek meg az ágyazat nélküli felépítményrendszerek, amelyek jelentős szerepet töltenek be a városi vasutak életében is és alkalmazásuk sok esetben nélkülözhetetlen. Viszont a zúzottkőágyazatos felépítményszerkezetekre továbbra is nagyon fontos szerep hárul, és mivel a világ vasútvonalain ez a legelterjedtebb pályaszerkezeti típust ezért továbbra is foglalkozni kell ezzel a szerkezettel és korszerűsíteni a megnövekedett járműterheléseknek és igénybevételeknek megfelelően.

Kulcsszavak: zúzottkő ágyazat, ágyazat nélküli felépítményrendszer, betonalj, előfeszítés, tengelyterhelés.

1. BEVEZETÉS

A vasúti felépítményeket az ágyazat típusa szerint két kategóriába sorolhatjuk:

- A) Zúzottkő ágyazatos felépítmény
- B) Merevlemezes (zúzottkő ágyazat nélküli) felépítmény

A zúzottkőágyazatú, keresztaljas felépítményszerkezetek a legelterjedtebbek világ szinten. Azonban az utóbbi évtizedekben a megnövekedett igénybevételeknek köszönhetően, több alkalommal is felmerült e pályaszerkezet megváltoztatásának az igénye. Főleg a sebesség növekedése, a vontasűrűség és az így adódó fenntartási munkák egymásutánisága és tarthatatlan ritmusa kényszerítette gyors lépésre a vasútépítő mérnököket [1, 2].

Így jelentek meg a merevlemezés pályaszerkezetek, amelyek lényege, hogy a pályalemez biztosítja a vágányok vízszintes és függőleges megtámasztását, illetve biztosítja a sínek szilárd rögzítését, megakadályozva, hogy a pályaszerkezet elmozduljon a közlekedő járművek hatására.

Ezzel a lépéssel sikerült kiküszöbölni a zúzottkő ágyazatos felépítményrendszerek legkedvezőtlenebb tulajdonságát, a térben és időben egyaránt jelentkező, terhelések hatására bekövetkező egyenlőtlen mértékű és maradandó alakváltozásokat, amelyek a pályageometria fokozatos romlásához vezetnek [2].

A felépítmény függvényében a pályaszerkezeteket a következőképpen csoportosíthatjuk:

A) *Zúzottkő ágyazatos felépítmény:*

- Keresztaljas pályaszerkezet (1.1. ábra);
- Magánaljas pályaszerkezet (1.2. ábra);
- Hosszaljas pályaszerkezet (1.3. ábra);
- Rácsos (vegyesaljas) szerkezet (1.4. ábra);



1.1. ábra: *Keresztaljas pályaszerkezet*



1.2. ábra: *Magánaljas pályaszerkezet*



1.3. ábra: *Hosszaljas pályaszerkezet*



1.4. ábra: *Rácsos pályaszerkezet*

B) *Merevlemezes (zúzottkő ágyazat nélküli) felépítmény:*

- *Pontszerű (diszkrét) alátámasztás (1.5. ábra):*
 - Keresztaljas pályaszerkezet
 - Keresztalj nélküli pályaszerkezet
- *Folyamatos sínalátámasztás (1.6. ábra):*
 - Kiöntött síncsatornás rendszer;
 - Elemekkel megtámasztott sínszál RAFS



1.5. ábra: *Pontszerű alátámasztás*



1.6. ábra: *Folyamatos alátámasztás*

2. ÁGYAZATOS FELÉPÍTMÉNYSZERKEZETEK

Napjainkban is, a felépítményszerkezetek alaptípusa a zúzottkő ágyazaton fekvő keresztalj maradt, amely a járműteher áthaladásakor keltett dinamikus terheléseket az ágyazatra vezeti.

Az ágyazat legfontosabb szerepe abban nyilvánul meg, hogy a vasúti pályán, a járműteher hatására megjelenő terheléseket az aljakra az alépítményekre továbbítsa, és elnyelje a dinamikus terhelésekből adódó energiát.

Ugyanakkor fontos szerepe van a pályageometria, a vágányok függőleges és vízszintes geometriájának megfelelő biztosításában, illetve abban, hogy a forgalomsűrűség és egyéb külső hatások következtében megjelenő hibákat stabil, állandó vágányszabályozási munkákkal könnyen, pontosan lehessen kijavítani [1, 2].

A legelterjedtebben használt zúzottkő ágyazatos, keresztaljas vágány előnyei között említhetjük a következőket:

- kedvező teherelosztás,
- jó nyomtávtartás, síndőlés biztosítás,
- kedvező keretmerevség,
- a vágány teherbírása az aljak sűrítésével nő,
- a vágányfektetési és a szabályozási munkák könnyen elvégezhetők és gépesíthetők,
- a vízelvezetés jól megoldható.

Azonban az éles törésű, poliéderez alakú zúzottkőből álló ágyazatok nagy hátránya az elaprózódás és elszennyeződés folyamata.

Az elaprózódás folyamata az üzemi terhelés közben megjelenő ütőerős erők hatására, vagy az alávetési munkák során a kalapácsok lesüllyesztésekor a szemcsék roncsolódásával kezdődik el, míg a hézagterfogatok feltöltődését ágyazatidegen anyagokkal, azaz az elszennyeződést, a szél hordta anyagok, növényi maradványok, esetleg a szállítójárművekből pályatestre lehulló anyagok ágyazatba jutása, illetve az alépítményből az ágyazatba felnyomódó finomszemcsék (nem megfelelő alépítményi védőréteg esetén) indíthatják el.

Ha a fent említett két negatív jellegű folyamat során megjelenő töltőanyag olyan mennyiségben van jelen, hogy nem csupán „úszik” az anyagszemcsék között, hanem részt vesz a teherviselésben, a zúzottkő ágya-

zat tulajdonságai megváltoznak, szimulációs kísérletek szerint az ágyazat tulajdonságai akár 50–70% -al romlanak, amely közvetlen kihatással van a pályageometriára és a közlekedési feltételekre [1, 2, 3].

2.1. Vasúti betonaljok

A vasúti pályák felépítményszerkezetéhez tartozó aljak szerepe a nyomtávolság biztosításában, a sínek alátámasztásában, azok eldőlésének biztosításában illetve a vágányt érő hossz- és keresztirányú erők egyenletes elosztásában nyilvánul meg.

Az alátámasztás jellege szerint megkülönböztetünk:

- Egy blokkos, „monoblokk” betonaljokat, amelyek napjainkban feszített eljárással készülnek. A sínszalak alátámasztását egyetlen, merev betonblokk biztosítja, amelyek középső szakaszán nagy hajlítónyomatékok ébrednek terhelések hatására.



2.1. ábra. Egy blokkos aljak

- Két blokkos, „bi blokk” betonaljokat, amelyek kizárólag lágyvasalással készülnek. A sínszalakat egy-egy betonalj támasztja alá, amelyeket hajlítónyomatékok felvételére alkalmatlan, kevésbé merev acélrúd kapcsol össze. Az aljakban terheléskor megjelenő hajlítónyomatékok viszonylag csekélyek, viszont a stabilitását nem tudják olyan szinten biztosítani, mint az egy blokkos rendszerek.

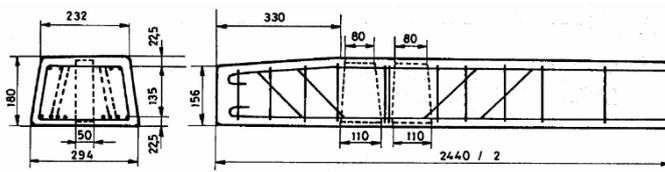


2.2. ábra. Két blokkos aljak (Ikeralj)

A betonaljok a vasalás típusa szerint lehetnek:

- Lágyvasbetétes aljak,
- Előfeszített aljak,
- Utófeszített aljak.

Kezdetben a vasúti betonaljokat lágyvasalással gyártották. Ez a folyamat a második világháború végéig tartott, ugyanis a feszítési eljárások megjelenéséig nagyobb előrelépés nem történt a betonaljok korszerűsítésében.



2.3. ábra. Ujelű vasbetonalj, (lágyvasalással) [4]

A feszítési eljárások megjelenése egy új fejezet kezdetét jelentette a vasbeton ipar területén, így a betonljak gyártása és felhasználása is új lendületet vett.

A feszítés adta lehetőségekkel különösképpen jelentkeztek a betonljak előnyei:

- sikerült csökkenteni a lágyvasas betonljakra jellemző repedésérzékenységet, azonban nem sikerült teljesen kiküszöbölni ezt a problémát, ami a mai napig fejtörést okoz a szakemberek számára;
- megnőtt az aljak teherbírása;
- élettartamuk 50 évre becsülhető;
- a betonljak tömege legalább kétszerese a faaljak tömegének, és jóval meghaladja a vasaljak tömegét is, ezáltal a vágányoknak nagy stabilitást ad, mely a hegesztett pályaszakaszok esetén elengedhetetlen. Ennek hatása a pályafenntartási munkák során mutatkozik meg leginkább, hogy a vágány kevésbé mozdul el, így kevesebbet kell szabályozni;
- a nagy oldalfelületek segítik a vágány oldalirányú stabilitását [1, 3, 4].

A feszített eljárásokat alkalmazó monoblokk betonljak esetében jelenleg az európai színvonalat a német B70-es betonljak testesíti meg, amelyet világszinten széles körökben alkalmaznak.

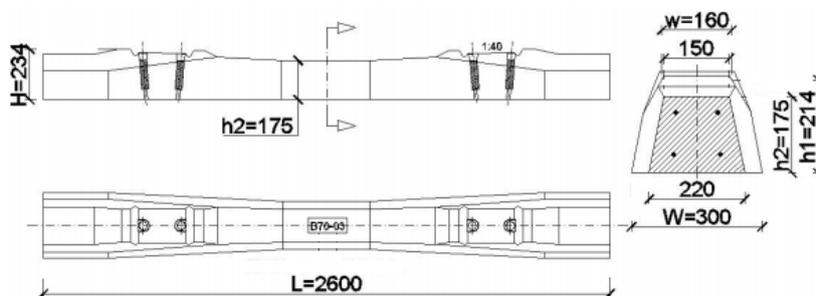
A német vasutak jelenleg használt szabványos betonlja a B 70-es, amely két féle változatban is készül elő- és utófeszített formában. A betonljak alakja a legyezőhöz hasonlít.

Az alj legyező alakjának köszönhetően, a felfekvési felület közel szimmetrikus a sín alatti keresztmetszetre, így a betonljak középső részének keresztmetszetében ébredő negatív nyomtatékok kisebbek, mint a más típusú betonljak esetében.

A betonljakat a következő vasalási változatokkal gyártják:

- 8db 6,9 mm-es St 1375/1570 minőségű feszítőhuzal, végein gombozással és lehorgonyzó lemezzel – véglehorgonyzással;
- 4 db Ø9,7 mm-es St 1375/1570 minőségű sima feszítőhuzal, utófeszítéses eljárással
- 4 db Ø10 mm-es St1420/1570 minőségű rovátkolt feszítőhuzallal tapadó betétes lehorgonyzással
- 4db Ø12 mm-es St 885/1080 minőségű rovátkolt huzallal.

Az utóbbi időben megfogalmazódott a B 75-ös típusú betonljak bevezetésének a lehetősége, amely főleg geometriájában hozna változásokat az elődjéhez képest, de ez még csak bevezetés alatt áll [1, 4].



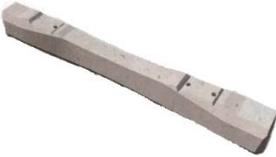
2.4. ábra: B 70 típusú német betonljak [4]

2.1. táblázat: A B 70-es betonljak műszaki adatai [4]

Tengelyterhelés	250 kN
Max. sebesség	230 km/h
Tömeg	282 kg ± 5%
Ágyazattal érintkező felület	6801 cm ²
Nyomtáv	1435 mm
Síndőlés	1:40
Sín típusa	UIC60
Lekötőszer típusa	SKL14 / E-clip

Romániában a német B 70-es betonljak geometriai sajátosságait figyelembe véve gyártják a T17-es nagy +96-teherbírású betonljakat, amelynek jellemzőit a 2.2-es táblázat mutatja be.

2.2. táblázat: T17 típusú román betonalj műszaki adatai [4]

Tengelyterhelés	250 kN
Max. sebesség	200 km/h
Tömeg	300 kg
Hossz (L)	2600 mm
Szélesség (W)	300 mm
Magasság (H)	241 mm
Magasság a sínek felfekvési helyén (h_1)	217 mm
Magasság az alj közepén (h_2)	182 mm
Ágyazattal érintkező felület	6800 cm ²
Nyomtáv	1435 mm
Betontípus	C 50/60
Betontérfogat	119 l
	

Magyarországon jelenleg az LW típusú nagysebességű pályákra tervezett betonalj a legelterjedtebb, amely geometriai adottságaiból adódóan sokkal robusztusabb a széles körben elterjedt „karcsúbb” aljakhoz képest.

2.3. táblázat: LW típusú magyar betonalj műszaki adatai [4]

Tengelyterhelés	225 kN
Max. sebesség	200 km/h
Tömeg	296 kg
Hossz (L)	2500 mm
Szélesség (W)	300 mm
Magasság (H)	232 mm
Magasság a sínek felfekvési helyén (h_1)	214 mm
Magasság az alj közepén (h_2)	175 mm
Ágyazattal érintkező felület	7019 cm ²
Nyomtáv	1435 mm
Betontípus	C 45/55
Betontérfogat	120.5 l
	

2.2. Vasúti betonaljok méretezése és vizsgálata

A vasúti felépítményszerkezetek feladata a járműrendszer vezetésében, illetve az áthaladó vasúti járművek által közvetített függőleges, vízszintes és keresztirányú terhelések átvételében és továbbításában nyilvánul meg.

A felépítményszerkezetek legmeghatározóbb eleme, a keresztaljas vágányszerkezetek esetén a vasúti keresztaljak, amelyek a sínleerősítéseken keresztül átveszik a sínektől a terhelést és továbbítják az ágyazatnak.

A vasúti keresztaljak méretezése során figyelembe kell venni a pályaszerkezet egyéb alkotó elemeinek is a sajátosságait. A tervezésnél különösen kell figyelni a következőkre [5, 6]:

- A sín, a betonalj, az ágyazat és az alépítmény sajátos tulajdonságaira;
- A fent felsorolt elemek gyártási, fenntartási, beépítési lehetőségeire, illetve a minőségi feltételekre;
- A vasúti közlekedés intenzitására, az áthaladó járműrendszerek által továbbított terhelésekre;
- A környezeti hatások ára;
- A fenntartási, karbantartási munkálatok rendszerességére;

A keresztaljas felépítményszámítási módszer a Zimmermann-féle számítási eljárást követi, amely kiinduló feltételként figyelembe veszi az ágyazat rugalmasságának hatását [5, 6].

$$p=Cy \quad (1)$$

A keresztaljat a két sín talpáról átadódó Q erők terhelik, amelyekkel a keresztalj alatt ébredő ágyazatreakciók tartanak egyensúlyt.

$$Q = \frac{P_s k}{2L} (1 + ts) \quad (2)$$

$$L = \sqrt[4]{\frac{4(E_r I_r + E_t I_0)}{b_0 C}} \quad (3)$$

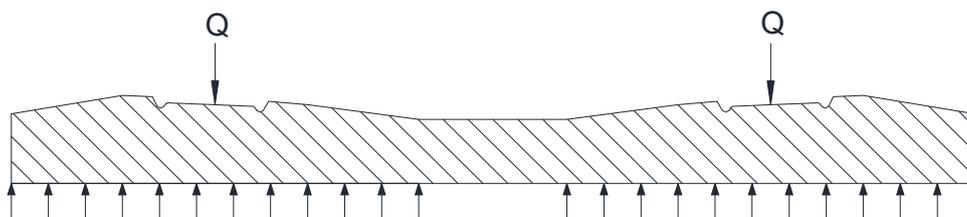
Az elvégzett kísérletek alapján igazolták, hogy a keresztaljak igénybevételeinek meghatározásánál a $p=Cy$ rugalmassági feltételezés nem ad a valóságnak megfelelő eredményt, mivel a C ágyazási tényező értéke a keresztalj hosszában változó [1].

A keresztaljak igénybevételeinek számítása a sínnyomás értékéből vezethető le. Viszont már ez az érték is közelítéseken és feltételezéseken alapszik, amelyet még csak fokoz a keresztalj és az ágyazat közötti kapcsolat elméleti lemodellezése. Megfigyelhető, hogy számos olyan tényező jelenik meg a számítási modellekben amelyek figyelembe vétele csak megközelítésekkel lehetséges. Ezeket a megközelítéseket az elvégzett mérések során összesített eredmények alapján vezetik be és azt szolgálják, hogy lefedjék mindazokat a lehetséges állapotokat, amelyek a pályaszerkezet műszaki élettartama alatt megjelenhetnek.

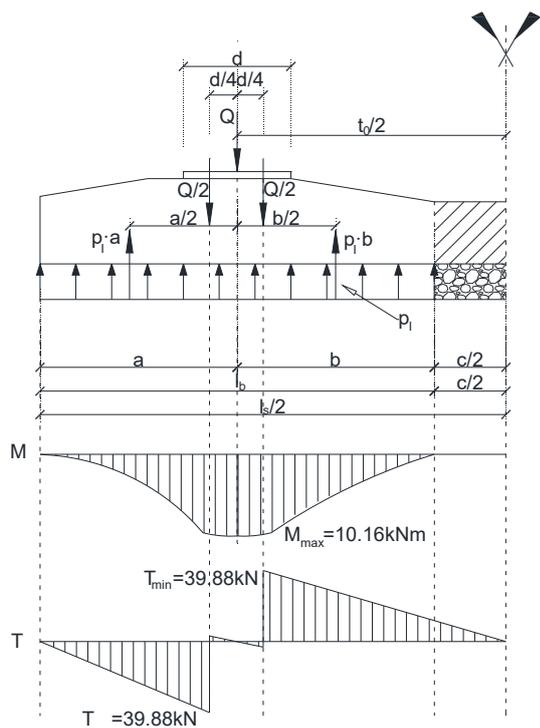
A vasúti keresztaljak méretezése során az aljak sín alatti, illetve középső keresztmetszetében megjelenő igénybevételek vizsgálata kiemelt fontosságú, mivel ezekben a keresztmetszetekben megjelenő nyomatók és nyírási igénybevételek teljes mértékben meghatározzák a merev tartóként kezelt vasúti keresztaljak viselkedését.

Az ágyazati nyomás keresztaljak alatti eloszlása függvényében két alapesetet kell vizsgálni [5, 7]:

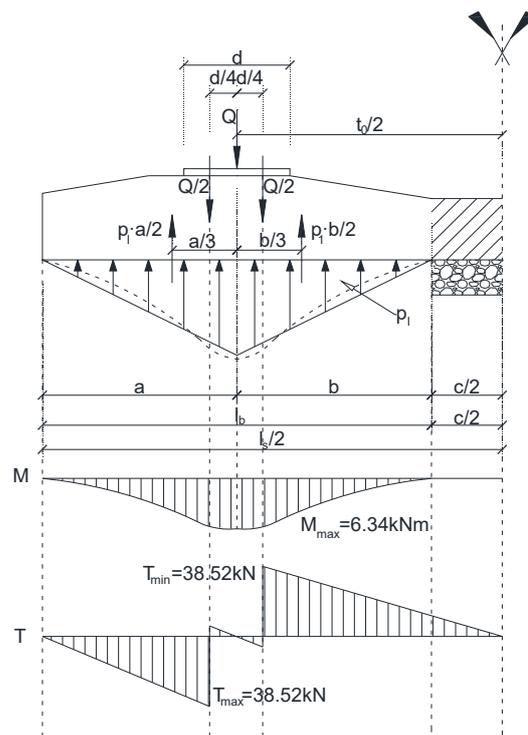
- A) Az ágyazatreakciók az aljak két szélső részén (a sínleerősítések alatti terhelési felületeken), a blokkok alatt oszlanak meg;**



2.5. ábra: Ágyazatreakciók eloszlása új építésű pályák esetén [5]



2.6. ábra: Ágyazatreakciók állandók [5]

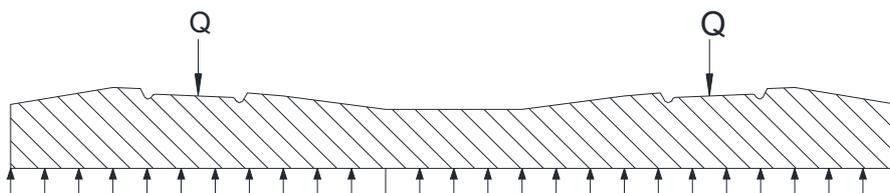


2.7. ábra: Ágyazatreakciók lineárisan oszlanak el [5]

Az ágyazatreakció megoszlásának alakját harang alakúnak feltételezik az alapozásnál használt modell alapján. Az itt megjelenő igénybevételeket az állandó és lineárisan változó ágyazatreakció eloszlás esetén ébredő mértékadó igénybevételek átlagaként számolják

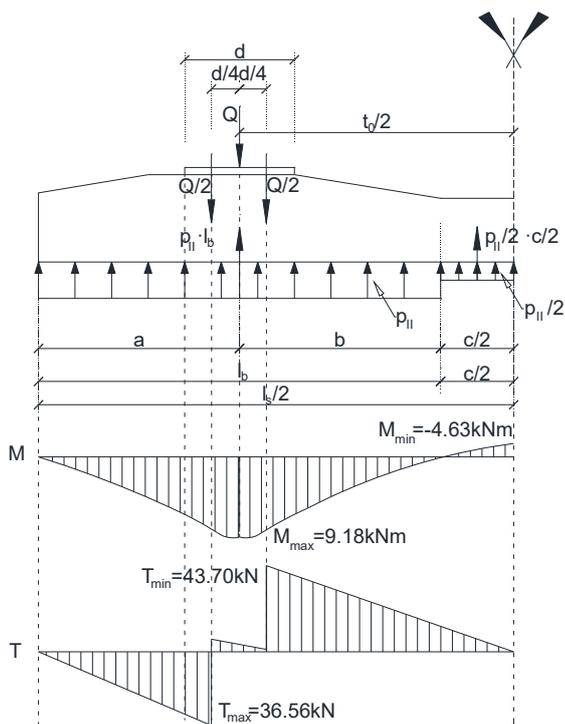
$$M_{max}^{harang} = \frac{M_{max}^{állandó} + M_{max}^{lineáris}}{2} \quad (4)$$

B) Az ágyazatreakciók az aljak teljes hosszában hatnak;



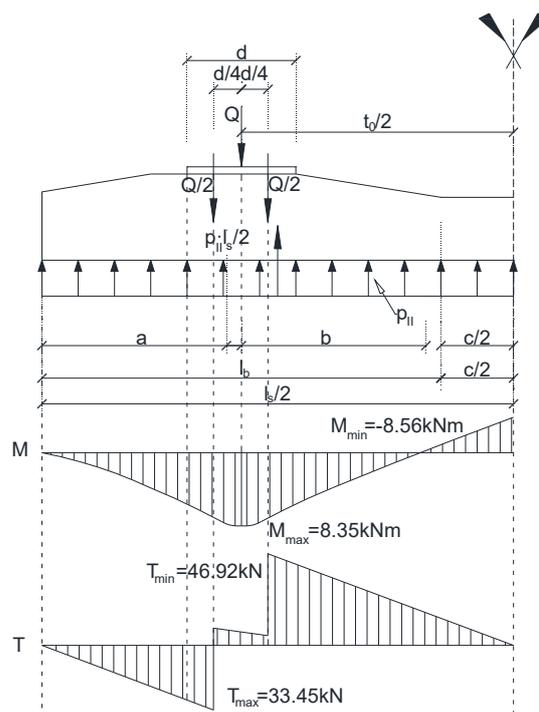
2.8. ábra: Ágyazatreakciók eloszlása üzemi állapot idején [5]

Ha az ágyazati nyomás az aljak teljes hosszára kiterjed, két esetet kell figyelembe venni. Ezek az állapotok az aljak részleges vagy teljes „fellovagolását” jelentik, és a középső keresztmetszetekre nézve a legkedvezőtlenebb, negatív nyomatékok jelennek meg. A részleges felfekvés esetén az alj középső felfekvési hosszán az ágyazati nyomás a blokkok alatt megjelenő nyomás értékének fele, míg teljes felfekvés esetén az ágyazati nyomás állandó az alj teljes hosszán [5, 6].



2.9. ábra:

Az alj részleges felfekvése üzemi állapot idején [5]



2.10. ábra:

Az alj teljes felfekvése üzemi állapot idején [5]

A vizsgálati eljárások fontos feltételként szerepelnek a vasbeton aljak tervezésének folyamatában. A vizsgálatok döntenek el, hogy a megadott geometriával, anyagminőséggel és vasalási feltételekkel rendelkező betonlaj megfelel-e a vasúttársaság illetve a szabvány által meghatározott feltételeknek, vagy új geometriai kialakítást, vasalást kell alkalmazni, esetleg a használt anyagok minőségét is cserélni kell.

A vasúti betonlajak vizsgálata az elemek méretéhez képest összetett feladatnak bizonyul, főleg úgy, hogy nagymértékben kell figyelni a fenntarthatósági tényezőkre is, és figyelembe kell venni a pályaszerkezet egyéb alkotó elemeinek is a sajátosságait.

A keresztaljak életciklusát befolyásoló egyik legmeghatározóbb tényező a zúzottkőágyazat állapota.

1. A vasbeton aljakat három különböző üzemi állapotban javasolt vizsgálni:

- Új, jó minőségű ágyazat esetén;
- Átlagos minőségű ágyazat esetén;
- Rossz minőségű ágyazat esetén.

A pályában fekvő betonlajakban megjelenő igénybevételek nagymértékben eltérhetnek egymástól. Mivel a számítási és tervezési eljárások sok feltételezést vesznek figyelembe, ezért nagyon fontosak a laboratóriumi vizsgálatok. Az aljak életciklusa során egy nagyon fontos kérdés, hogy melyik az az állapot, amikor az aljak nem alkalmasak az üzemi körülmények fenntartására, és szükséges azok cseréje. Illetve szorosan kapcsolódik ehhez a kérdéskörhöz a fenntarthatóság megállapítása [8].



2.11. ábra. *A vasúti betonlajak laboratóriumi vizsgálata [8]*

2. A laboratóriumi vizsgálatok elsősorban ezekre a kérdésekre adják meg a választ.
3. Az európai szabvány (EN 13230-2-2) és a vasúttársaságok által előírt vizsgálatok a terhelés jellege szerint három csoportba oszthatók [8, 9, 10]:
 - statikus,
 - dinamikus és
 - fárasztó vizsgálat.

3. AZ ÁGYAZAT NÉLKÜLI (MEREVLEMEZES) FELÉPÍTMÉNYSZERKEZET

A vasúti közlekedés fejlődésével az ágyazattal kapcsolatban egyre gyakrabban merültek fel az ágyazatellenállás, az anyagminőség, az alakváltozások, a pálya – jármű dinamikus kölcsönhatása, a szennyeződés kérdései, és amint az előző részben is látható, mai napig fejtörést okoznak a vasútépítő mérnököknek ezek a kérdések, így egy alternatív megoldást az ágyazat nélküli (merevlemezes) felépítményszerkezetek bevezetése jelentett, amelyek számos előnyös tulajdonsággal bírnak a hagyományos, ágyazatos pályaszerkezetekkel szemben:

- A hagyományos kialakítású vágányokhoz képest kedvezőbb vonalvezetés alakítható ki, ugyanazon tervezési sebesség esetén, és a síneket alacsonyabb hőmérsékleten is le lehet fektetni;
- A fekszint, irány és túlemelés jellemzők változásmentesen megvalósíthatóak, ez a vágányszabályozási munkák elmaradását illetve a pálya és a járművek kopásainak csökkenését eredményezi;
- Kisebbs a szerkezeti önsúly és magasság;
- Nagyobb oldallellenállást biztosít a vágánynak, így magasabb az üzembiztonság, mivel a dinamikus igénybevételekből, illetve a hőmérsékleti hatásokból származó oldalirányú erők felvétele íves szakaszokon is megfelelő mértékű;
- Kedvezőbb feszültségviszonyokat teremt az alépítményben, a feszültegeloszlás egyenletesebb, a feszültségcsúcsok is elmaradnak;
- A növényzet nem képes átnőni, nem kell tartani a szennyeződés folyamatától, így az ezekre fordított pályafenntartási költségek elmaradnak;
- A szerkezet üzemi élettartama 50–60 év körül van, ami jóval meghaladja a zúzottkőágyazatok 30–40 éves élettartamát;
- A kedvező állékonyságnak köszönhetően nagyobb az utazási komfort az egyenletes járműfutások miatt;
- Lehetővé teszi az örvényáramú fékek használatát a rövidebb fékezési távolság biztosítása érdekében, a vágány stabilitásának veszélyeztetése nélkül;
- Lehetséges a zúzottkőes felépítményre meghatározott 150 mm-es értéknél jóval nagyobb (180–200 mm) túlemelés kialakítása is, ami kisebb sugarú körívek építését eredményezi.

Viszont szerkezetükből adódóan ezeknek a pályaszerkezeteknek is vannak hátrányaik a hagyományos zúzottkő ágyazatú pályaszerkezetekhez képest:

- Kivitelezés szempontjából nagyobb az időigénye és költségesebb, illetve nagyon pontos kivitelezési munkát igényel, ugyanis az esetleges hibák kijavítása utólag hatalmas költségekkel járhatnak, esetenként a szerkezeti elemek teljes cseréjét teszik szükségessé;
- Bár a várható üzemi élettartamát 50–60 évre becsülik, ez a kivitelezési előírások pontos betartását igényli, illetve, hogy ne érjék a szerkezetet olyan váratlan hatások, amelyek nehezen kijavítható károkat okozhatnak (pl.: kisiklás), ugyanis ezek ugyancsak a szerkezeti elemek teljes cseréjét, és hosszabb idejű pályazárásokat igényelnek;
- A pályageometria jellemzőinek (fekszint, irány, felfekvés, stb.) szabályozási lehetőségei vízszintes és függőleges irányban sokkal korlátozottabbak, mint a hagyományos felépítmény szerkezetek esetén, ezért nagyon kell figyelni az alépítményeknél jelentkező talajsüllyedésekre;
- Földrengéses vagy gyenge talajjal rendelkező övezetekben nem javasolt ezeknek a szerkezeteknek a használata;
- Rezgés- és zajcsillapítás megoldása (5dB);
- Átmeneti szakaszokat kell kialakítani a merevlemezes és hagyományos pálya találkozásánál.

Először a földalatti vasutaknál vált szükségsszerűvé egy alternatív módszer megalkotása a zúzottkő ágyazat helyettesítésére. Ennek oka, hogy az alagutakban a zúzottkő ágyazat kedvezőtlen tulajdonságai fokozottabban jelentkeztek.

A városi vasutaknál szerzett tapasztalatokat felhasználva, több vasúttársaság is felismerte a merevlemez-pályaszerkezetek lehetőségének alkalmazását a nagyvasutak esetén is, elsősorban a nagysebességű vasutak körében bizonyultak előnyösnek.

Jelenleg is tart világszerte a merevlemez-pályaszerkezeteknek a korszerűsítése, egyre több és speciálisabb igényt kielégítve. Amint a fentiekben is látható, két fő típusuk van: a pontszerű (diszkrét) sínalátámasztást biztosító- és a folyamatos sínalátámasztást biztosító rendszerek [1, 2, 3].

3.1. A Rheda-rendszerű ágyazatonélküli felépítmény

A Német Szövetségi Vasutak (DB) szakemberei az 1970-es években kezdték el az ágyazatonélküli felépítményszerkezetek intenzív fejlesztéssorozatát, amelynek egyik, világszinten is legelterjedtebb típusa a Rheda-rendszer.

Ennek a típusnak egyik kedvező tulajdonsága, hogy hosszú ideje használatban vannak, így rengeteg kísérlet és tapasztalat áll a szakemberek rendelkezésére, hogy a legszigorúbb elvárásoknak is megfeleljenek. Így az idők folyamán több típusa is megjelent, különféle elvárásoknak megfelelően.

Ennek is köszönhető, hogy jelenleg világviszonylatban a legelterjedtebb rendszernek számít, 400 km Németországban, 150 km Hollandiában, 52 km Tajvanon, 56 km Spanyolországban, 40 km kísérleti szakasz formájában Kínában, 22 km Görögországban.

Az első Rheda-rendszer (Rheda Classic) 1972-ben volt lefektetve Németország, Bielefeld–Hamm vasútvonal, Rheda–Wiedenbruck vasútállomásának átmenő vágányába, és napjainkban is használatban van.

A síneket B 70 jelű, 0,60 m kiozttással fektetett, feszített betonlajokra kötötték le. A pályaszerkezet teherhordó lemeze egy 0,14 m vastag, legalább C30/35-ös minőségű betonlemez, hossz- és keresztirányú lágyvasalással, amely az ívben az emelést is megadó helyszíni betonra került. Az építés során a teherhordó pályalemezre helyezett betonlajakat a kiszabályozás után kiékelik, ezután történik a keresztaljak alatti hézag és a keresztalj közötti tér kibetonozása. A betonlajak, a közöttük lévő kitöltőbeton és a vasbeton alaplemez együttdolgozását az alaplemezről kinyúló acélfüleken, valamint a betonlajakon átfűzött 3 db. huzal biztosította. (3.1. ábra)

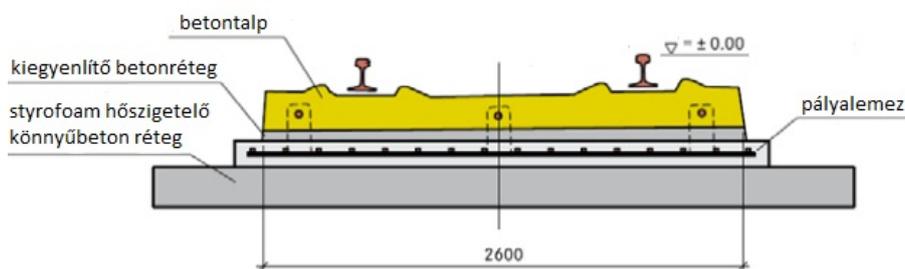
Az alaplemez alatt 0,20 m vastag Styrofoam hőszigetelő könnyűbeton réteget és 0,15 m vastag cementes stabilizációt építettek be. Rugalmas leerősítést, a sínaljak alatt elhelyezett közbetétek biztosították. A pályaszerkezet hosszanti mozgását a két végén, az altalajba alapozott ellenfalak akadályozták meg [1, 2, 3].



3.1. ábra: Az első, 1972-ben lefektetett Rheda-rendszer [2]

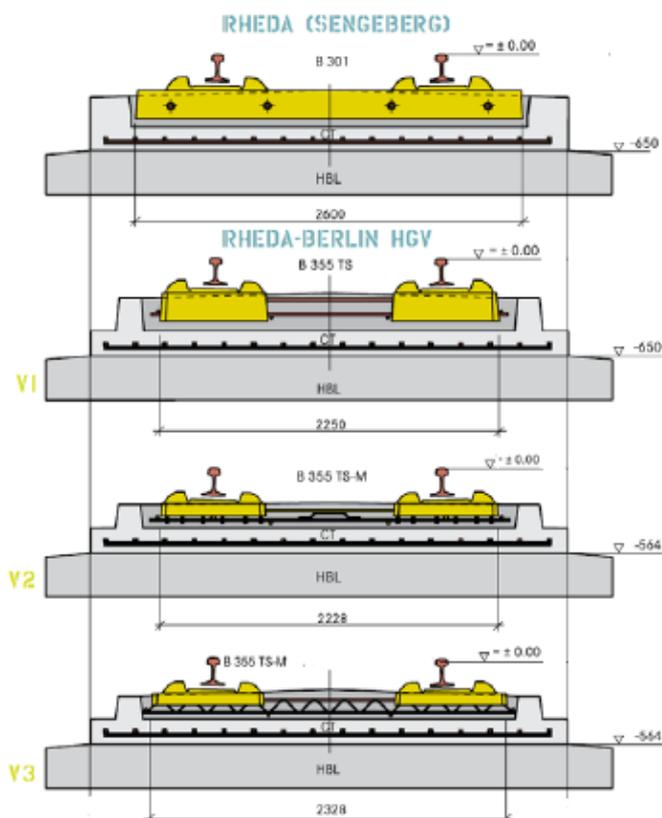
A rendszer megalkotói a következő alapelveket követték:

- A hajlításra igénybe vett pályalemezek a terhelést egyenletesen osszák el;
- A sínek rugalmasan legyenek alátámasztva;
- 50 mm-ig lehetséges legyen a magassági korrekció;
- Az nyílt szakaszokon, hidakon és alagutakban használt szerkezeti megoldások azonosak legyenek az átmeneti szakaszok kiküszöbölése érdekében.



3.2. ábra: Rheda (Classic) 1972 [2]

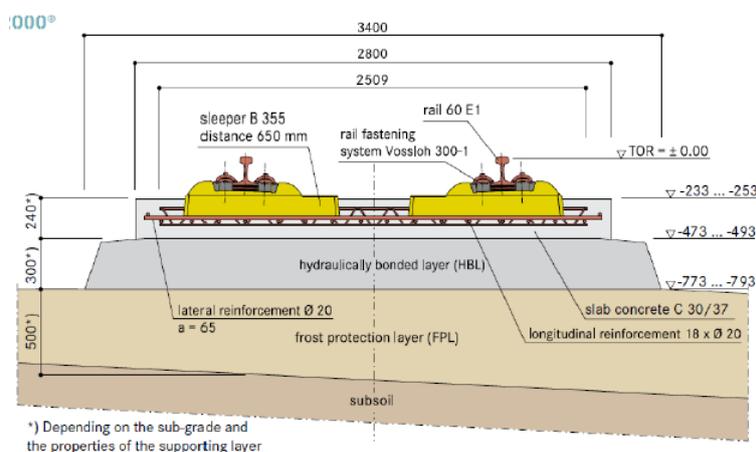
Az első igazán nagy változás az alapréteg szerkezeti összetételében következett be, amely egy 30-35 cm hidraulikusan kötött teherhordó réteget és egy 20-25cm vastag fagyvédőréteget foglalt magába. Az alapréteg szerkezeti felépítése megmaradt napjainkig ebben a formában, viszont a felépítmény szerkezete több változáson is átesett, amint ez a következő ábrán megfigyelhető [1, 2, 3].



3.3. ábra: A Rheda-rendszer fejlődése [2]

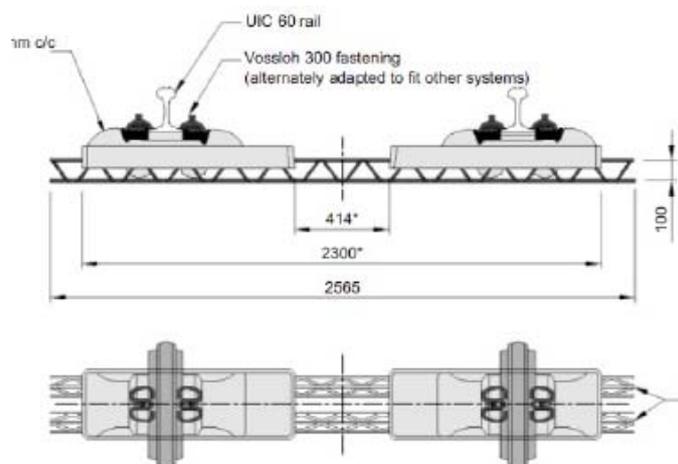
Jelenleg a rendszer legfejlettebb típusa a Rheda 2000, amely a ábrán látható. Ez a rendszer nagyon rugalmasnak bizonyul a különböző tervezési feltételek teljesítésében. Főbb jellemzői:

- A B 355 W60M SBS típusú kétblokkos aljak egy rácsos szerkezetű, acél keresztartóval vannak merevítve;
- Az aljak a szerkezet monolit, teherviselő alaplemézére beágyazva fekszenek fel;
- A jobb teherleszotást az alépítményre illetve a rezgéscsillapítást és ezáltal a jobb utazási komfort biztosítását a rugalmas, Vossloh 300 típusú sínleerősítések biztosítják.



*) Depending on the sub-grade and the properties of the supporting layer

3.4. ábra: A Rheda 2000 rendszer [2]



3.5. ábra. A Rheda 2000 rendszerénél használt B 355 W60M kétblokkos aljak [2]

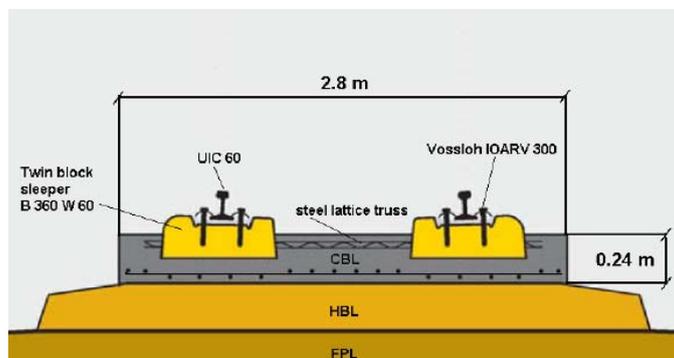
3.2. Züblin–rendszerű ágyazatnélküli felépítmény

Ennek a rendszernek a fejlesztése szintén az 1970 – es évek elején kezdődött Németországban, amelynek legfőbb célja, hogy gyorsítsa a kivitelezési és összeszerelési munkákat célgépek segítségével, és ezzel csökkentse a költségeket.

A betonalkatokat fektetőgéppel, egyesével, 65cm-es kiosztással, pontos fektetés mellett vibrálják be a betonlemezre (20–28 cm vastag és 2,8m széles) elterített friss betonba, miután az kellően megkeményedett.

A lemez egy 30 cm vastag, hidraulikusan kötött teherhordó rétegre fekszik fel amely alatt egy 50 cm vastag fagyvédőréteg található.

A 3.6. ábrán látható a legújabb Züblin–rendszerű pályaszerkezet, amelyet 2005-ben Kínában, 460 km-es kétvágányú, gyorsvasúti pálya építésénél használtak.



3.6. ábra. Züblin–rendszerű ágyazatnélküli felépítmény [2]

3.3. FFC–rendszerű ágyazatnélküli felépítmény

A monolit vasbetonlemez szerkezetek csoportjába sorolható ez a felépítményrendszer.

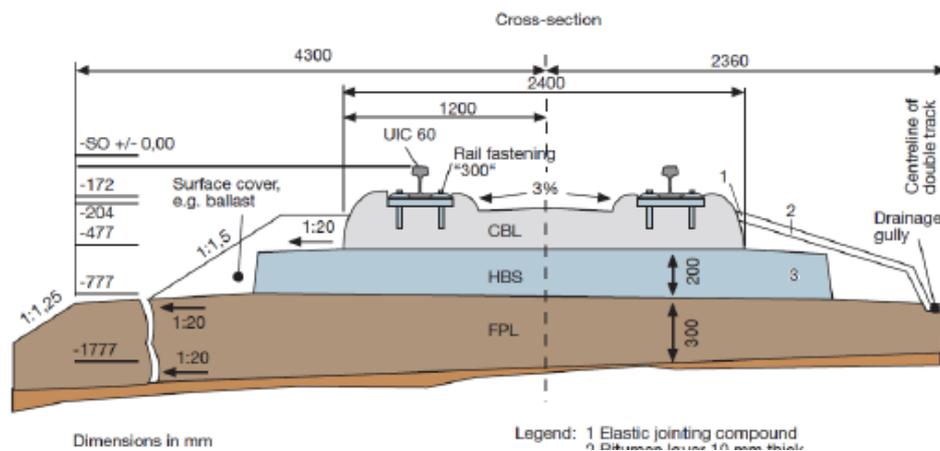
A helyszínen kiöntött teherviselő lemezre, fektetik le a síneket, nem használva betonalkatokat, ezáltal csökken a szerkezet önsúlya és magassága, így jól alkalmazható hidak és alagutak esetén.

Ugyanakkor terhelés alatt úgy viselkedik, mint egy folytonosan alátámasztott gerenda, amely kivitelezési módjának köszönhetően elég rugalmas ahhoz, hogy gyenge, mélytalajok esetén is alkalmazható legyen, hiszen a terheléseket egyenletesen, nagy terhelési felületekre leosztva továbbítja. Azonban nem javasolt alkalmazásuk a földrengéses övezetekben.

A alépítmény rétegződése a megszokott módon egy fagyvédőréteget illetve egy hidraulikusan kötött teherviselő réteget foglal magába, amelyre jön egy 6 cm vastagságú bitumines kavicsréteg, majd erre fekszik fel a 30–35 cm vastag monolit vasbetonlemez, amelyet nagy pontossággal, gépesítve öntenek ki.

A sínek rögzítéséhez szükséges leszorítólemezeket vagy a frissen öntött betonba vibrálják be, vagy pedig a már megkötött betonlemez felületére erősítik csavarok segítségével. Ezután következik a sínek lefektetése a többnyire rugalmas sínleszorító elemek segítségével.

A monolit vasbetonlemez szélessége 2,4 m, hosszanti irányban pedig 3 m-enként hagynak bevágásokat a lemezben, biztosítva a víz lefolyását a lemez felületéről. A monolit vasbetonszerkezeteknél különösen nagy figyelmet kell fordítani a repedések megjelenésére [1, 2, 3].



3.7. ábra. FFC-rendszerű felépítményrendszer [2]

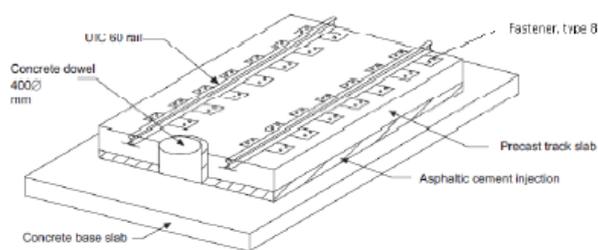
3.4. Shinkansen-rendszerű ágyazat nélküli felépítmény

A japán vasutak felismerve, hogy a nagysebességű vonalszakaszokon a rendkívüli nagy igénybevételek következtében a hagyományos zúzottkőágyazatos vágányrendszerek fenntartása sokkal több időt igényelne, mint amit a vasúti forgalom sűrűsége lehetővé tesz, így, már 1955-ben elkezdte az ágyazat nélküli felépítményrendszerek fejlesztését.

1970-ben összesen 16 km hosszú kísérleti pálya létesült, főleg műtárgyakon. Az eredmények alapján a rendszernek két típusa terjedt el Japán szerte, amelyeket napjainkban is használnak:

A) Injektált ágyazású, előregyártott betonlemez felépítmény

Az alépítményre, amelyet a fagyvédőréteg és a hidraulikus kötésű teherviselő réteg alkot, beton alaplemez épül, meghatározott felső szinttel. Erre kerül rá az 5,00 x 2,34 x 0,16 m méretű előregyártott vasbeton pályalemez. Az alaplemez és a pályalemez közé 40 mm vastag bitumenes-cementes habarcsot injektálnak, amely nagy pontosságot igényel, ez biztosítja a vágány pontos és tartós fekszintjét. A pályalemezek stabilitását a 0,25 m magas és 0,40 m átmérőjű, az alaplemezről felfelé kinyúló betoncsapok adják.



3.8. ábra. Injektált ágyazású, előregyártott betonlemez Shinkansen-rendszer [2]

B) Rugalmas ágyazású, keresztaljas pályaszerkezet

A Shinkansen hálózatának városkörnyéki szakaszaira kedvezőbb rezgés- és zajcsillapítás céljából a pályalemez pályaszerkezeteket rugalmas ágyazású, keresztaljas pályaszerkezetekkel helyettesítették.

A rezgés- és zajelnyelés feladatát egyrészt a 7,50 m hosszú, előregyártott betonlemezbe bebetonozott, 500 kg tömegű, poliuretán sapkával ellátott feszített betonléc látják el, másrészt pedig a bebetonozott betonléc közé, a betonágyazat felszínére elhelyezett zúzottkő réteg.

3.5. Edilon-rendszerű ágyazat nélküli felépítmény

Az Edilon rendszer fejlesztése 1970-en kezdődött el Hollandiában, és az első tesztet 1976-ban végezték Deurne mellett. A fejlesztések legfőbb célja a zaj- és rezgés csökkentés volt.

Az Edilon-rendszer és az ehhez hasonló felépítménytípusok (Infundo, BBERS) folyamatos, rugalmas sínalátámasztást biztosítanak, ahol a sínszalak kiöntőanyaggal vannak megtámasztva.

Az Edilon termékek alkalmazása meghatározott feltételek mellett történhet. Ezek a feltételek: a környezet és a beton vagy acél sínsátorona hőmérséklete, a levegő páratartalma, harmatpont, a sínsátorona nedvességtartalma, a sínsátorona tisztasága. Nem megfelelő időjárási körülmények esetén fóliatakarást kell alkalmazni, illetve fűtött sátor alatt kell a kiöntést végezni.

A sínsátorona alját és falait homokszórással elő kell készíteni. A csatorna falának érdesnek, tisztának és száraznak kell lennie. Felületén nem lehet szennyeződés, szemét, olaj, zsír vagy víz.

A gumicsíkok leragasztása után a sínsátoronában 1,5 – 2,0 m-enként elhelyezik az alátétlemezeket és a sín dőlését biztosító ékeket, amelyekkel a függőleges beállítás történik.

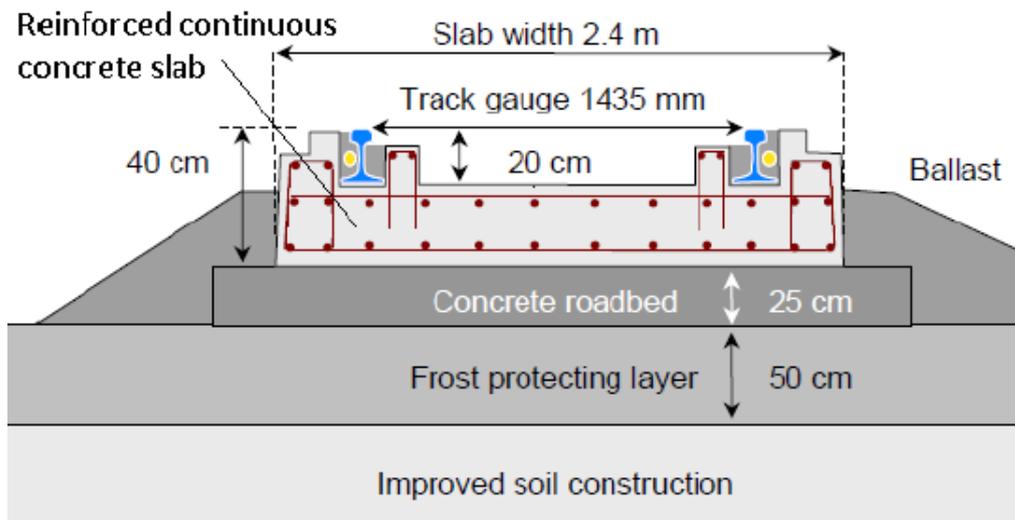
Ezután következik a sín beemelése a sínsátoronába, majd pedig a sín vízszintes irányú beállítása a PVC-csőkre erősített bilincsek és a Corkelast kontra ékek segítségével.

Végezetül pedig az Edilon Corkelast kétkomponensű kiöntőanyag beöntése a sínsátoronába. A kiöntéshez az Edilon cég speciális gépet szerkesztett. A kiöntőanyag összetevői arányának változtatásával különböző ágyazási rugalmasságot tudnak kialakítani.

A alépítményre felfekvő betonlemez 40 cm vastag, 240 cm széles és fugák nélkül a helyszínen alakítják ki, csúsztatóval módszerrel. A lemez mindkét irányban vasalt. A reá hulló vizek adott távolságban a vágánytengelybe beépített elnyelővel vezetik el. A sínsátoronába elhelyezett sínt ± 5 mm mértékben lehet irányra és fekvésre szabályozni [1, 2, 3].

A megoldás előnyei:

- egyszerű szerkezet, hosszú élettartam;
- vágányszabályozási munkák elmaradása, a sínkopás intenzitása csökken;
- rugalmas, folytonos sínalátámasztás;
- jó rezgés és zajcsillapítás;
- jó villamos szigetelő hatás;
- a pálya néhány óra elteltével átadható a forgalomnak.



3.9. ábra. Az Edilon-rendszerű felépítményszerkezet [2]

4. ÖSSZEFOGLALÁS

A vasúti közlekedés fejlődésével megnőtt az igény a nagysebességű vonatok iránt, ugyanakkor a vasúti teherszállítás is egyes országokban újabb fejezetbe lépett, nagyobb műszaki követelményeknek kitéve a felépítményszerkezeteket.

Ezzel párhuzamosan szemléletváltás történt a felépítményszerkezetek megítélését tekintve, ugyanis kezdetben a építési szempontokat tekintették irányadónak a biztonság mellett, a pályafenntartási munkákat háttérbe utasítva, míg az utóbbi időben a szerkezetek teljes műszaki élettartamát vizsgálják gazdasági, biztonsági és környezetvédelmi feltételeket figyelembe véve.

A gazdaságosság feltétele építési és fenntartási költségek együttes alakulását foglalja magába, ami azt jelenti, hogy a vasúttársaságok vállalják akár a magasabb építési költségeket is, ha aztán az üzemi évek alatt, jelentősen csökkenő fenntartási költségekkel tud egy gazdaságosabb szerkezetet építeni.

A biztonsági szempontok tekintetében a pálya mellett a járműveknek és a közlekedést segítő rendszernek is fontos szerep jut. De a különböző területeken végzett fejlesztéseknek köszönhetően a felépítményszerkezetek szempontjából nincsenek nagy különbségek egészen addig, amíg nem a gyorsvasutak támasztotta követelményeknek kell megfelelni, mert a hagyományos felépítmények itt jelentős hátrányba kerülnek, mivel jóval rövidebb ideig tudják biztosítani a szükséges műszaki követelményeket, ezzel pedig gazdaságosság szempontjából is hátrányba kerülnek.

A harmadik feltétel pedig a környezetvédelemhez kapcsolódik.

Mára már világossá vált, hogy a vasúti közlekedés képes a leghatékonyabb környezetkímélő módon működni.

A vasútnak több környezeti előnye is ismert a helyigény, az energiafelhasználás és a CO₂ kibocsátás területén.

Ami viszont megoldásra vár, a rezgés- és zajterhelések csökkentése. A felépítményszerkezetekre itt is fontos szerep hárul. A merevlemez felépítményszerkezetek ebben a témakörben kezdetben nagy hátrányban voltak a hagyományos szerkezetekhez képest, viszont a sínleerősítéseken végzett korszerűsítéseknek köszönhetően, ma már nagyon jó rezgés- és zajjelnyelő szerkezetek alkottak. Jó példa erre Hollandia és az Edilon-rendszer, amely szép sikereket ért el ebben a tekintetben, de lehetne említeni több Nyugati-európai országot, vagy éppen Japánt, ahol lassan törvények szabályozzák a megengedett zajhatásokat.

A leírtakból jól kivehető, hogy a felépítményrendszerek megválasztásánál több szempontot is vizsgálni kell, és ez közvetlen hatással van a pályaszerkezet egyéb elemeinek a megválasztására is, mint sínlekötések, sínzsalak típusa.

Látható, hogy a zúzottkő ágyazatú vágányok megtartják az alkalmazási területüket az ágyazat nélküli felépítmények biztosította előnyök ellenére is, de valószínű, hogy ennek a pályaszerkezetnek a kizárólagossága megszűnik, és körvonalazódnak azok a határok, amelyeken belül egyik vagy másik típusú felépítményrendszer alkalmazása hatékonyabb és kedvezőbb.

HIVATKOZÁSOK

- [1] Mezei István, id. Dr. Horváth Ferenc, Pál József, Vasútépítés és pályafenntartás I kötet, Magyar Államvasutak Rt., Budapest, 1999
- [4] Köllő Szabolcs Attila, Dr. Köllő Gábor, Vasúti betonaljok, Műszaki Szemle, 64. szám, 2014, ISSN 1454-0746;
- [3] Szabolcs Attila Köllő, Attila Puskás, Gábor Köllő, Ballasted track versus ballastless track, International Conference on Innovative Research, 2015. május 14-15., Jászvásár
- [2] Köllő Szabolcs Attila, Dr. Köllő Gábor, Vasúti pályaszerkezetek, Műszaki Szemle, 66.szám, 2015., Erdélyi Magyar Műszaki Társaság, ISSN 1454-0746;
- [5] Köllő Szabolcs Attila, Dr. Köllő Gábor, A vasúti betonaljok méretezése, XX. Nemezetközi Építéstudományi Konferencia, ÉPKO 2016. június 1-5., Csíkszereda;
- [6] Szabolcs A. Köllő, Gavril Köllő, Attila Puskás, *The optimization of railway concrete sleepers for increasing the durability and sustainability*, Second International Conference on Concrete Sustainability, 13 – 15 June, Madrid, Spain;
- [7] Szabolcs Attila Köllő , Attila Puskás, Gavril Köllő, *Influence of the maintenace work and support conditions on the optimization process of railway concrete sleepers*, The 10th International Conference, Interdisciplinarity in Engineearing, 6-7. október 2016., Marosvásárhely;
- [8] Köllő Szabolcs Attila, Dr. Köllő Gábor, A vasúti betonaljok vizsgálata, XXI. Nemezetközi Építéstudományi Konferencia, ÉPKO 2017. június 8-11., Csíkszereda;
- [9] *EN 13230-1*, Vasúti alkalmazások. Vágány. Beton sín- és váltóaljzat;
- [10] *EN 13230-2*, Vasúti alkalmazások. Vágány. Beton sín- és váltóaljzat;

Vasúti együttműködő acél-beton hídszerkezetek számítógépes tervezése a NEWLINE CSD program segítségével

Composite Steel-concrete Bridges Design with NEWLINE CSD Software

Proiectarea podurilor în structură mixtă oțel-beton cu ajutorul programului NEWLINE CSD

ORBÁN Zsolt László¹, Dr. KÖLLŐ Gábor²

¹NEWLINE PROJECT Kft. Kolozsvár

²Kolozsvári Műszaki Egyetem

ABSTRACT

The paper presents an optimization of the calculation of slab bridge superstructures with composite steel-concrete section, dealing with three types of composite structures of this kind, for which the calculation methods in the elastic-plastic field have been complied with the provisions of the European norms in force. In this respect, the paper will present the calculation algorithm and the Newline CSD (Composite Structure Design) railway bridge design program.

BEVEZETÉS

A jelenlegi vasútközlekedés fejlesztési tendenciák olyan jellegű műszaki követelmények kifejlesztését igényelik, az infrastruktúra és a vágány felépítménnyel kapcsolatosan, amelyek biztosítják a vonatok sebességnövekedését. Ebből a feltevésből kiindulva az elsődleges követelmény a kis és közepes fesztávú hidak rehabilitációs vagy építési munkáiban a kőágyazat folytonossága biztosítása lenne.

A kőágyazat folytonosságának biztosítása akkor lehetséges ha a hagyományos „nyílt típusú” pályaszerkezetet, ahol a vasútfelépítmény (vasúti aljak és sínek) közvetlenül felfekszik a vasúti hídfelépítmény strukturális elemeire (hossz-tartók, főtartók), helyettesítjük egy „zárt típusú” pályaszerkezettel, ahol a vasútfelépítmény felfekvése egy kőágyazatot tartó teknőszerkezet által történik.

Az együttműködő acél-beton hídszerkezetek előnyei a hagyományos hidakkal szemben a következők:

- a vízszintes és magassági vonalvezetés módosítás lehetősége
- az együttműködő acél-beton hídszerkezeteken történő kisiklások kevésbé súlyos következményekkel járnak a hagyományos kialakítású hídszerkezeteken történőkkel szemben.
- az együttműködő acél-beton hídszerkezetek felépítményének magassága kisebb, ugyanakkor a szerkezet merevebb és a dinamikus hatások szempontjából kedvezőbb a viselkedése, valamint a fáradási jelenség is csökken.
- az építési folyamat sokkal gyorsabb mint a hagyományos betonhidak esetében, kevesebb zsaluzással.
- a talpfákat ki lehet cserélni betonalkjakra
- a vasútfelépítmény karbantartása az együttműködő acél-beton hídszerkezeteken megoldható magas produktivitású munkagépekkel, folyamatosan.
- a kőágyazatnak köszönhetően a hídon levő vasútfelépítmény rugalmassága ugyanolyan mint a folyópályán levőnek.

A hátránya az együttműködő acél-beton hídszerkezeteknek az acélhidakkal szemben a nagyobb önsúly, vagyis erősebb alapzat igénylése.

Acél-beton hídszerkezetek számítógépes tervezése

Az út-, vasút- és hídtervezés gyakorlatában találkozunk nemegyszer olyan esettel, ahol a legtöbb időt a terv előállításában a műszaki megoldások tanulmányozása vette igénybe és az optimális megoldások megszerzése a kivitelezés egyszerűsítése érdekében. Ebben az összefüggésben a számítógépes tervezés segítséget nyújt a tervezőmérnöknek, lehetőséget nyújtva az összes megoldás tanulmányozására rövid időn belül. Foly-

tonosan változtatva a kezdőleges tervezési adatokat, egy tervezési program lehetővé teszi a projekt különböző változatainak tanulmányozását, közvetlen fejlesztési hatást gyakorolva a tervezési folyamat minőségére.

Tekintettel arra, hogy az együttműködő acél-beton teknőhidak esetében a tervezési folyamat könnyítése egy számítógépes program által nem volt megoldva eddig, létrehoztunk egy tervezési programot az egyik legnépszerűbb és könnyen kezelhető programozási nyelvek verziójával, a Microsoft Visual Basic segítségével.

Első alkalommal 2002-ben, egy demonstratív formátumban hoztuk létre a tervezési programot a KIRON név alatt. A programot három számítási modulusra alakítottuk, melyek három típusú együttműködő acél-beton teknőhíd szerkezet számítását tette lehetővé: tömör keresztmetszetű acél-beton lemez, üreges együttműködő öszvérlemez, acélcsővekből kialakított acél-beton együttműködő lemez.

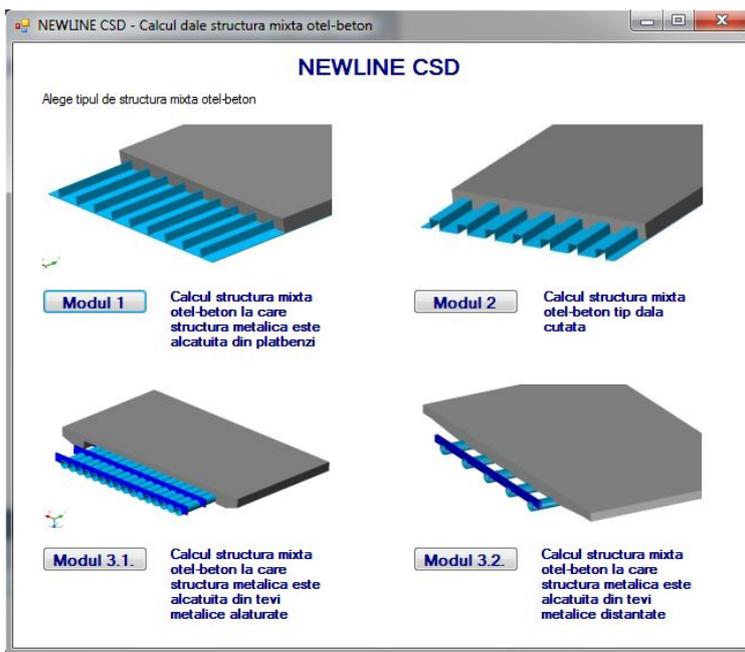
Ezt követően a tervezési program fejlesztésére került sor, és így jött létre a program új változata, a Newline CSD (Composite Structure Design) tervezési program, mely figyelembe veszi az európai szabványok (Eurocode) új tervezési követelményeit is.

A Newline CSD tervezési program az együttműködő acél-beton teknőhíd szerkezetek komplex megközelítést kínál a felhasználó részére, amelynek kiindulópontja, a Nyugat-Európában sikeresen felhasznált nagy sebességű vasúti hidak felépítményei.

A program egy barátságos architektúrával rendelkezik, könnyen alkalmazható, nem igényel magas szintű számítógép-kezelési ismereteket. Jelenleg a román nyelvű verziója készült el, de a közeljövőben megjelenik a magyar és angol verziója is.

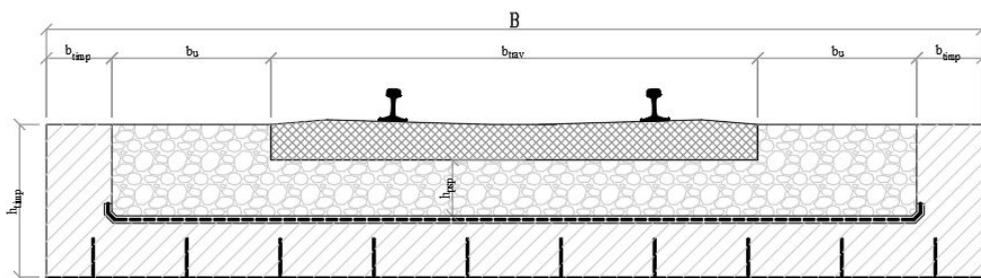
A NEWLINE CSD PROGRAM BEMUTATÁSA

A Newline CSD tervezési program első párbeszéd-ablaka (1. ábra) lehetőséget nyújt a felhasználónak, hogy három típusú acél-beton együttműködő lemez-szerkezet konstruktív megoldása közül válasszon:



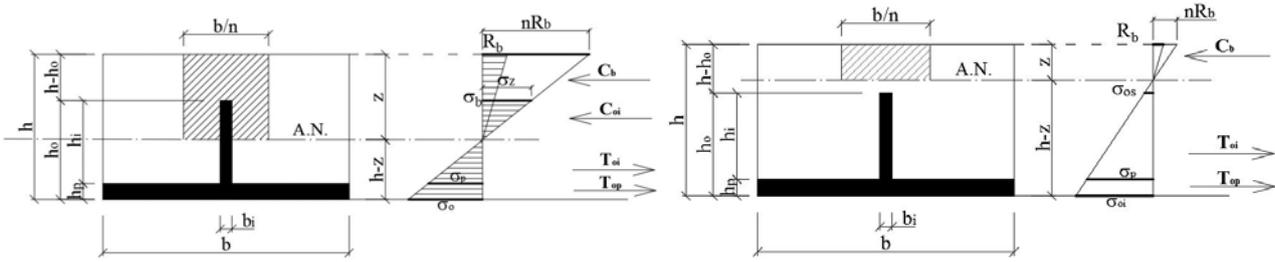
1. ábra

❖ tömör keresztmetszetű acél-beton I



2. ábra

Számítási modell:

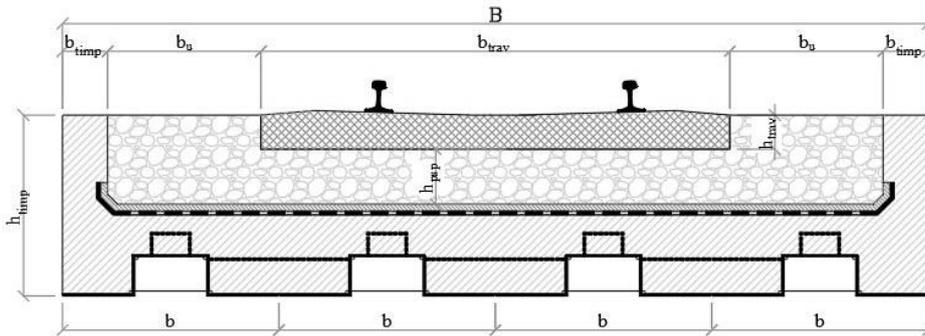


I. hipotézis – semleges tengely az acélban

II. hipotézis – semleges tengely a betonban

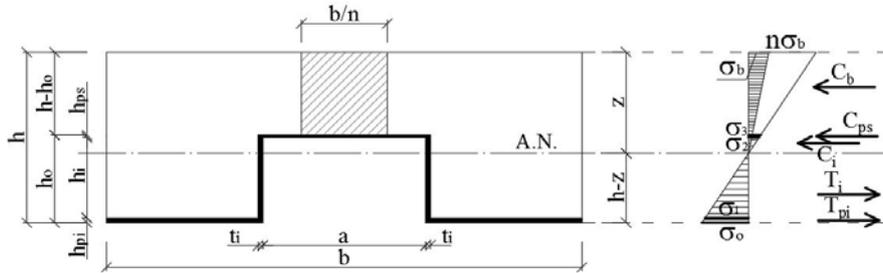
3. ábra

❖ üreges együttműködő öszvérlemez:

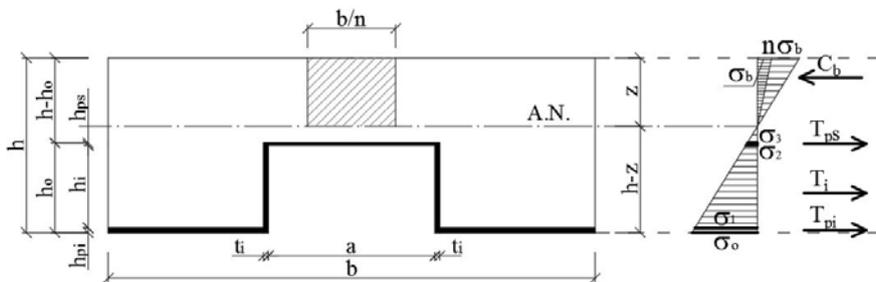


4. ábra

Számítási modell:



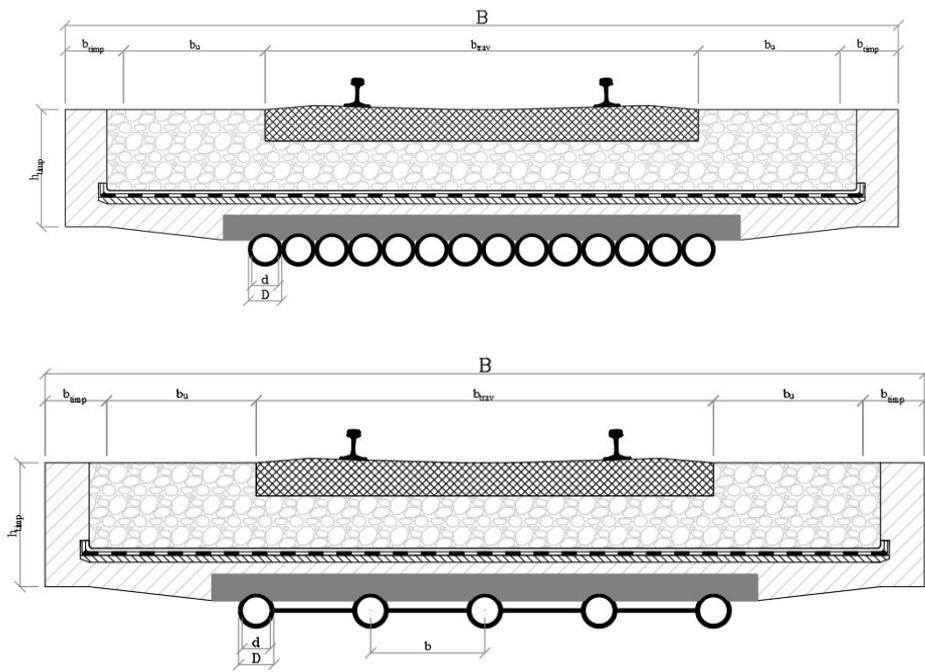
I. hipotézis – semleges tengely az acélban



II. hipotézis – semleges tengely a betonban

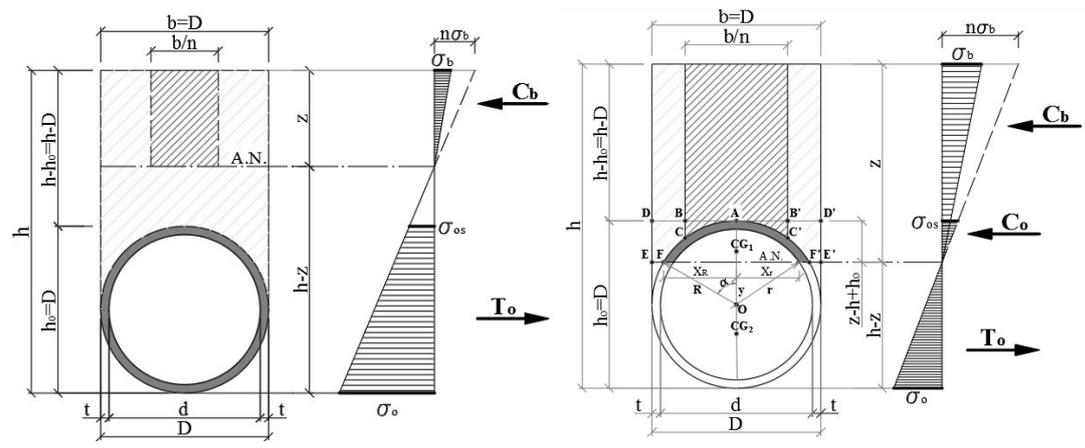
5. ábra

❖ acélcsövekből kialakított acél-beton együttműködő lemez:



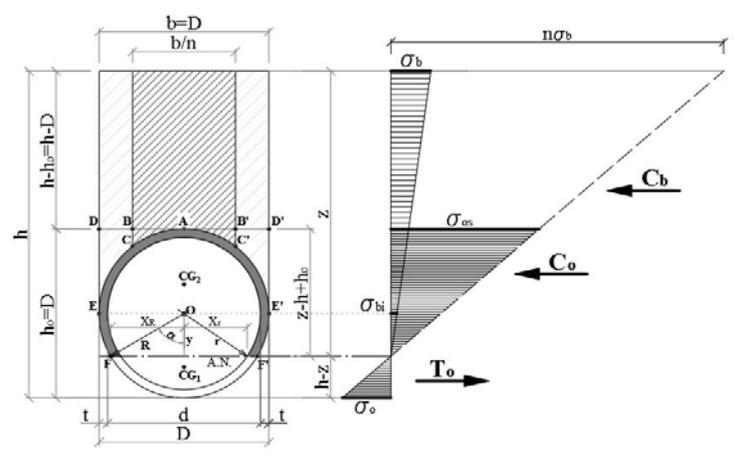
6. ábra

Számítási modell:



I. hipotézis – semleges tengely a betonban

II. hipotézis – semleges tengely a betonban és az acélban



III. hipotézis – semleges tengely az acélban

7. ábra

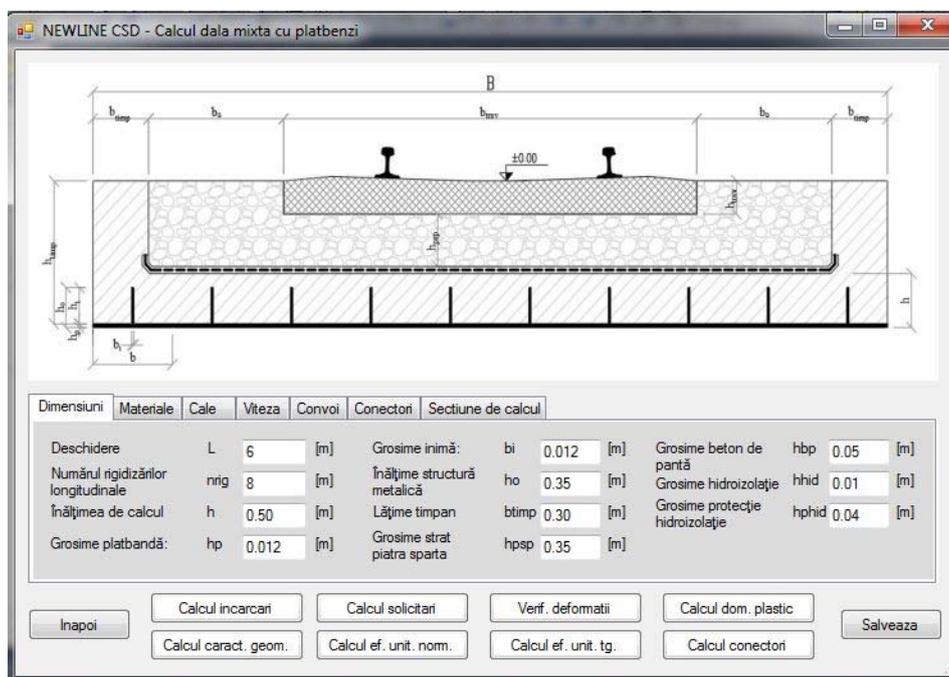
A tervezési folyamatnak egyik legfontosabb szakasza a szerkezet méretezése. A program hét csoportra osztja be és kéri a felhasználótól a szerkezet méretezésére szükséges adatokat a következőképpen:

- Geometriai méretek meghatározása
- Anyagok kiválasztása
- A pálya jellemzőinek meghatározása
- A vonat-sebesség kiválasztása
- A megfelelő vonat-terhelés kiválasztása
- A kapcsoló-elemek típusának kiválasztása
- A számítási keresztmetszet pozíciójának meghatározása

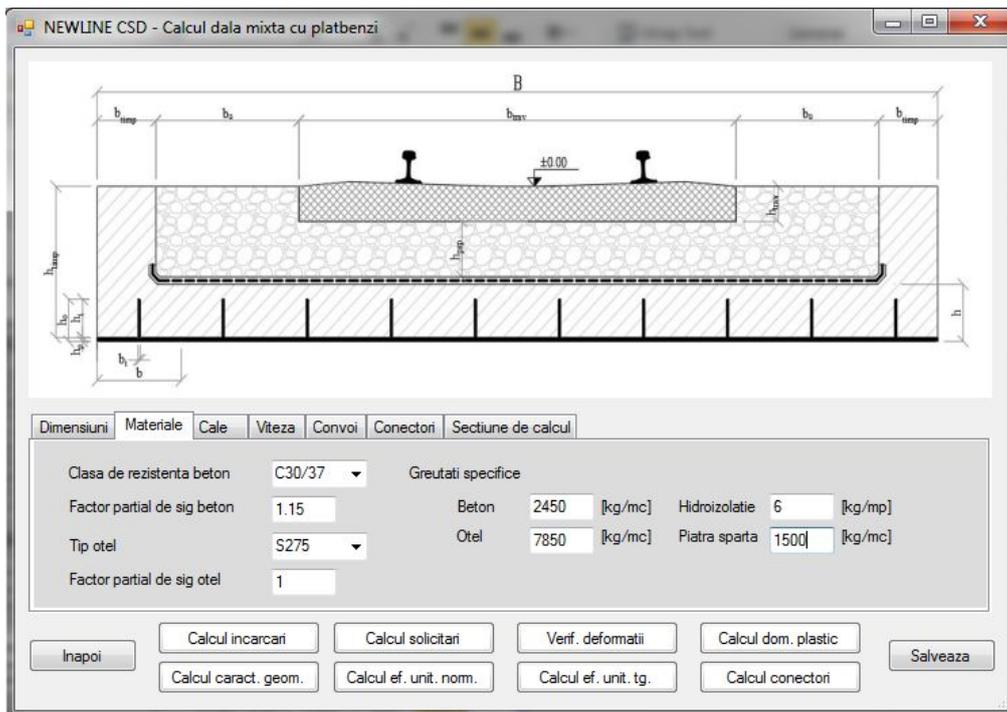
A geometriai méretek meghatározása keretében a keresztmetszeti elemek méretezésére valamint a híd nyílásának kiválasztására kerül sor (8. ábra).

A tervezési programot úgy alakították ki, hogy lehetővé teszi az acél-beton együttműködő lemez-szerkezetek számítását hat betonosztály (C25/30, C30/37, C35/45, C40/50, C45/55 és C50/60) és négy acélosztály (S235, S275, S355 és S450) használatával, melyekkel a felhasználó méretezheti szerkezetét. A két anyag parciális biztonsági tényezője a felhasználó saját választására van bízva, de a választandó értékek az érvényben lévő szabványoknak kell, hogy megfeleljenek (9. ábra).

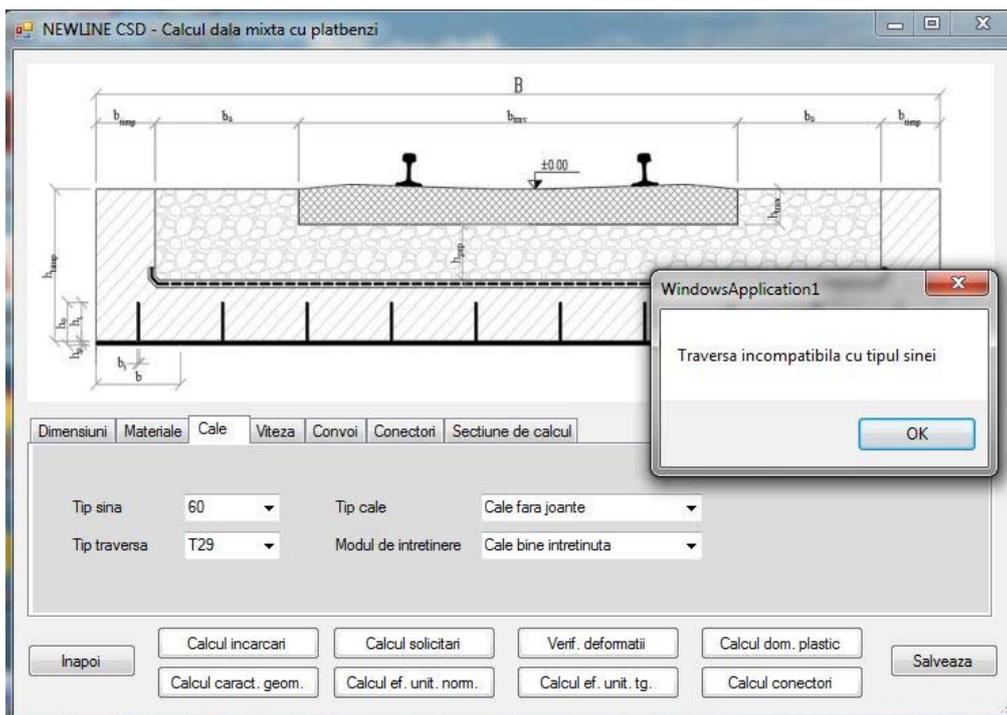
A pálya jellemzőinek meghatározási szakaszában lehet kiválasztani a megfelelő aljat és sántípust. A program úgy van kialakítva, hogy nem engedélyezi a felhasználónak, hogy egy olyan aljat válasszon amely nem kompatibilis a sántípussal, hibaüzenettel jelezve ezt (10. ábra). A pálya típusa és ennek a karbantartási módszere szükséges adatok, melyek alapján kiszámítható a vonat-terhelés dinamikus tényezője.



8. ábra. Méretezés - Geometriai méretek meghatározása

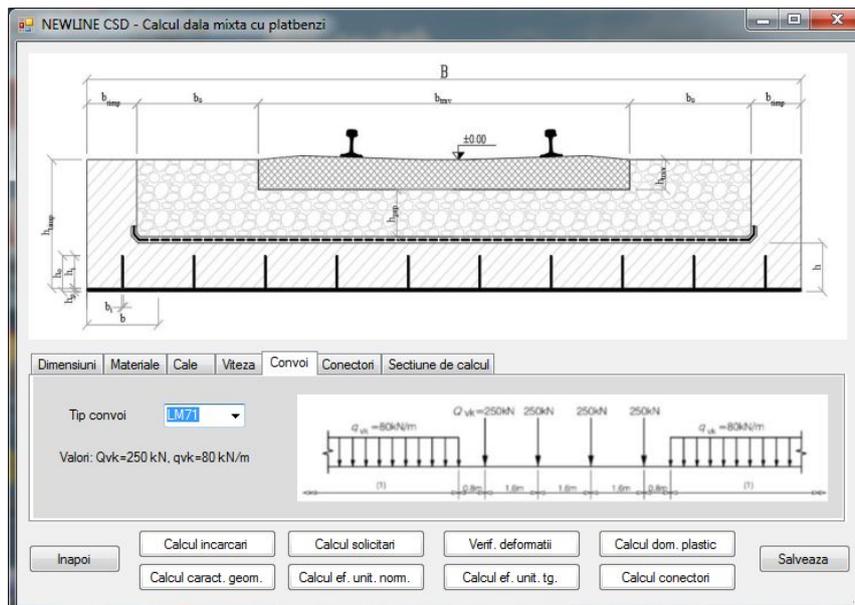


9. ábra. Méretezés – Anyagok kiválasztása



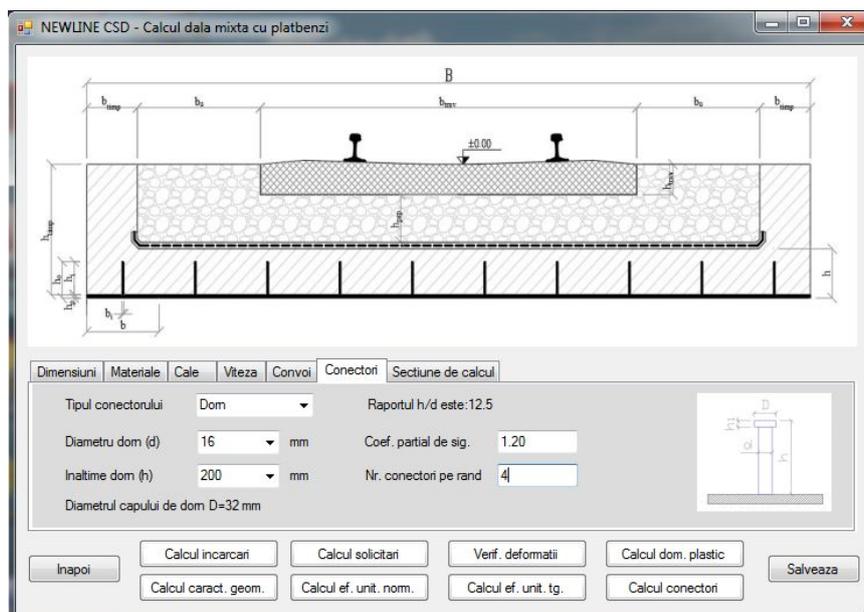
10. ábra. Méretezés – A pálya jellemzőinek meghatározása

A program a következő lépésben a vonat-terheléseket határozza meg, lehetőséget nyújtva különböző típusú vonat-terhelések kiválasztásához mind a hazai szabványok mind az európai Eurocode szabványok szerint.



11. ábra. Méretezés – A megfelelő vonatterhelés kiválasztása

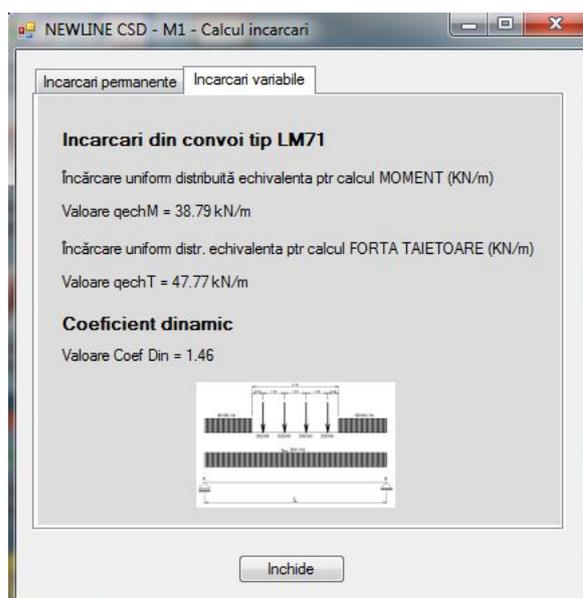
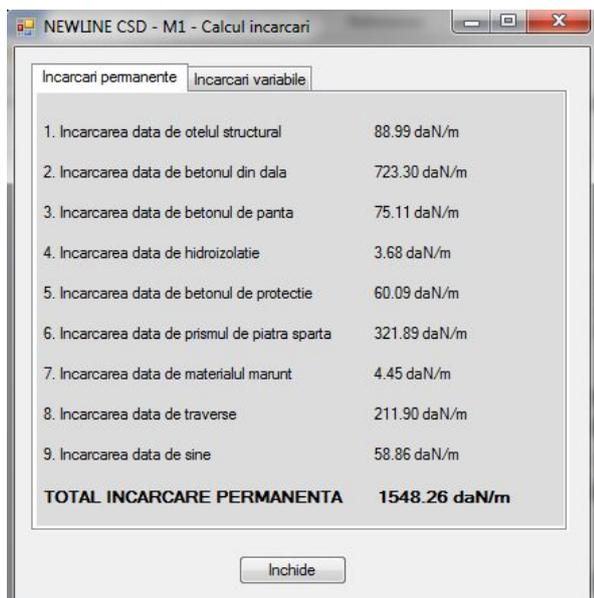
Az acélszerkezet és betonlemez közötti együttműködést a kapcsolóelemek biztosítják. Ekképpen ez a méretezési lépés megengedi a felhasználónak, hogy kiválassza a megfelelő kapcsolóelemet szerkezetéhez. A tervezési program jelenlegi verziója három típusú kapcsolóelem használatát teszi lehetővé: kettő merev és egy elasztikus. A kapcsolóelem típusa és ezeknek soronkénti számának meghatározása után a program kiszámítja a szükséges kapcsolóelemek számát a híd fél-nyílására valamint ezeknek elhelyezését.



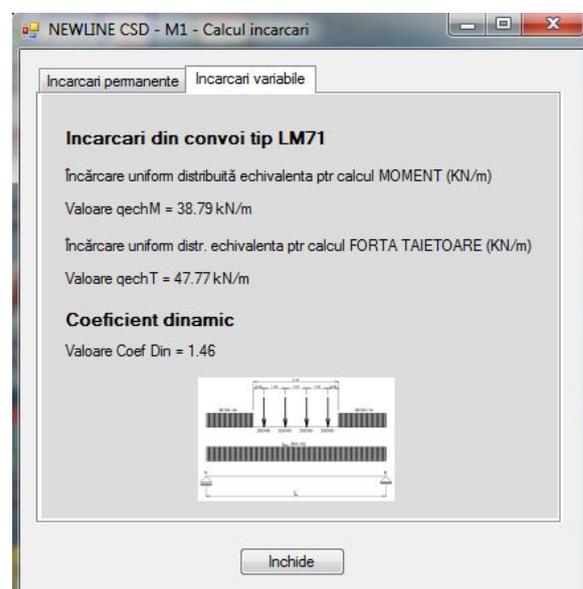
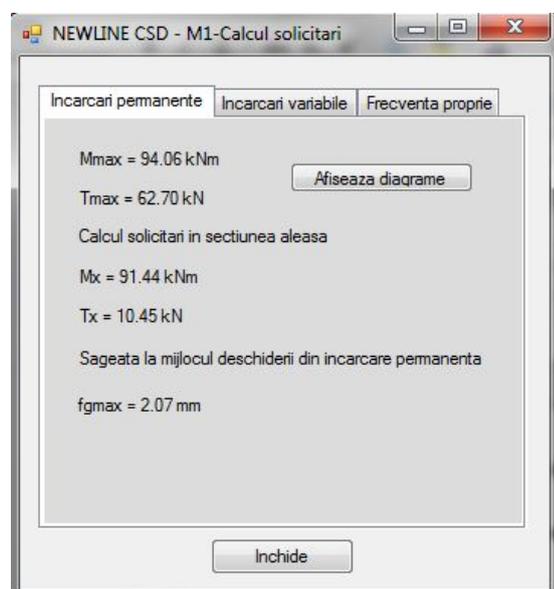
12. ábra. Méretezés – A kapcsolóelemek kiválasztása

Következik az állandó terhelések és a vonat-terhelések kiszámítása (13. ábra), valamint az igénybevételek (nyíróerő - T, hajlítónyomaték - M) meghatározása (14. ábra).

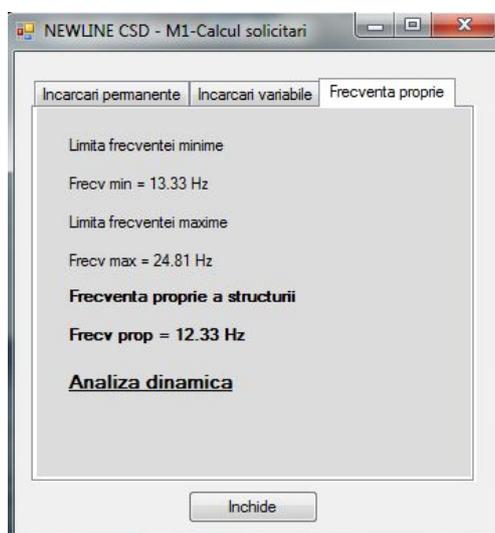
A tervezési program által számított dinamikus tényező a vonat-terhelés típusától függ: hazai szabvány vagy Eurocode által meghatározott vonat-terhelés. Ha a vonat-terhelés választása hazai szabvány szerint történik, akkor a dinamikus tényező számítása a pálya típusától, az ágyazat átvezetése a hídon illetve a vonat sebességétől függ. Az Eurocode által meghatározott vonat-terhelések esetében a dinamikus tényező a pálya karbantartási módszere szerint számítható ki. Ugyanakkor a program kiszámítja a híd önrezgésszámát és viszonyítja a hídnílás szerint számított minimális és maximális önrezgésszámhoz. Az utóbbi értékeket egy külön ablakban jeleníti meg a program (15. ábra).



13. ábra. Az állandó és vonat-terhelések kiszámítása



14. ábra. Az igénybevételek meghatározása

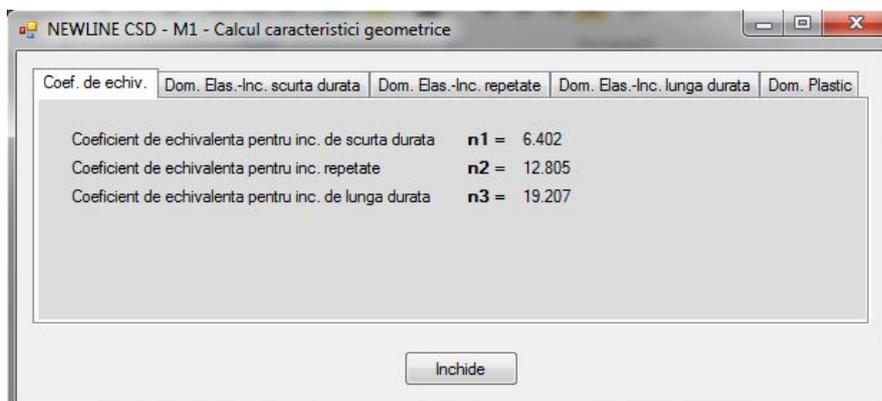


15. ábra. Az önzregésszám kiszámítása

A három típusú együttdolgozó acél-beton lemezszerkezet számítása a nyomott betonrész egy ekvivalens homogén acél-keresztmetszet átalakítására alapszik. Az átalakítás betonról acélra egy redukáló tényező alkalmazásával történik, amit az acél rugalmassági modulus és a beton rugalmassági modulus közötti arány értékeként veszünk figyelembe. Az erőtan követelmények kielégítését három állapotban kell megvizsgálni:

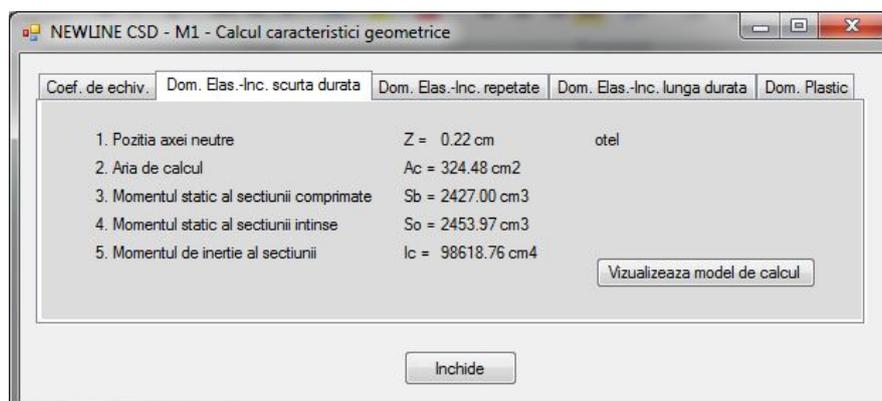
- rövid ideig ható terhelés esetében (vonat-terhelés);
- a beton lassú alakváltozásainak és zsugorodásának figyelembevételével;
- figyelembe véve a rövid ideig ható terhelés gyakoriságát (fáradás jelensége).

Az itt felsorolt három eset mindenikében más-más redukáló tényezőt (n) kell alkalmazni.

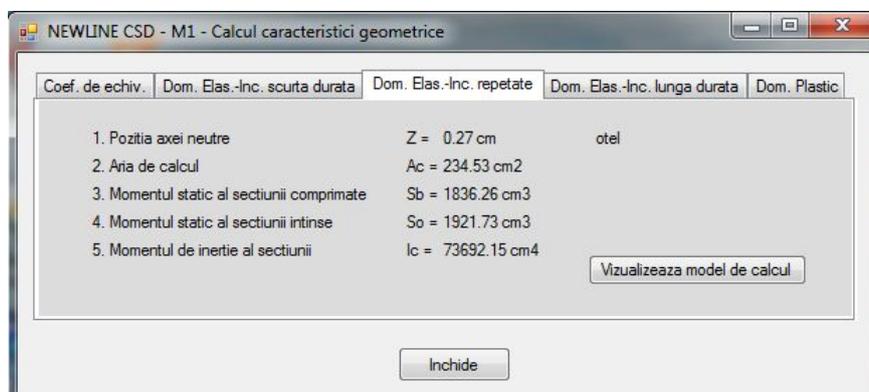


16. ábra. Redukáló tényező

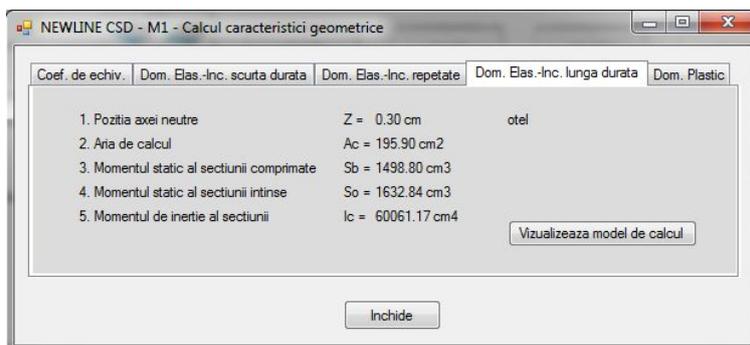
Az átalakított keresztmetszet geometriai jellemzőit az előbb említett három állapotban számítja a program (17-19. ábra).



17. ábra. Geometriai jellemzők számítása rövid ideig ható terhelés esetében

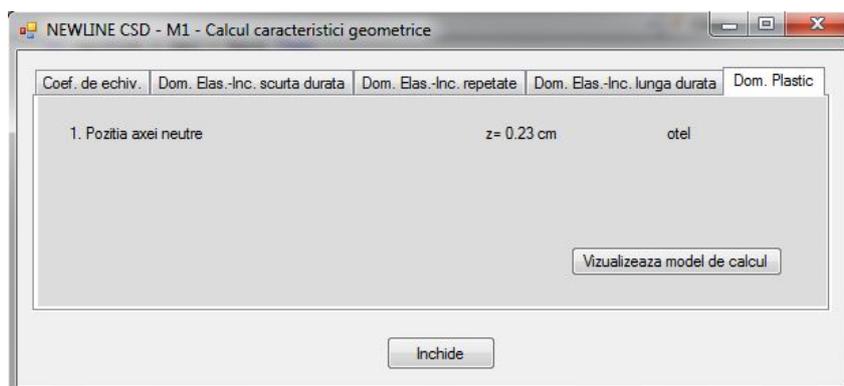


18. ábra. Geometriai jellemzők számítása figyelembe véve a rövid ideig ható terhelés gyakoriságát



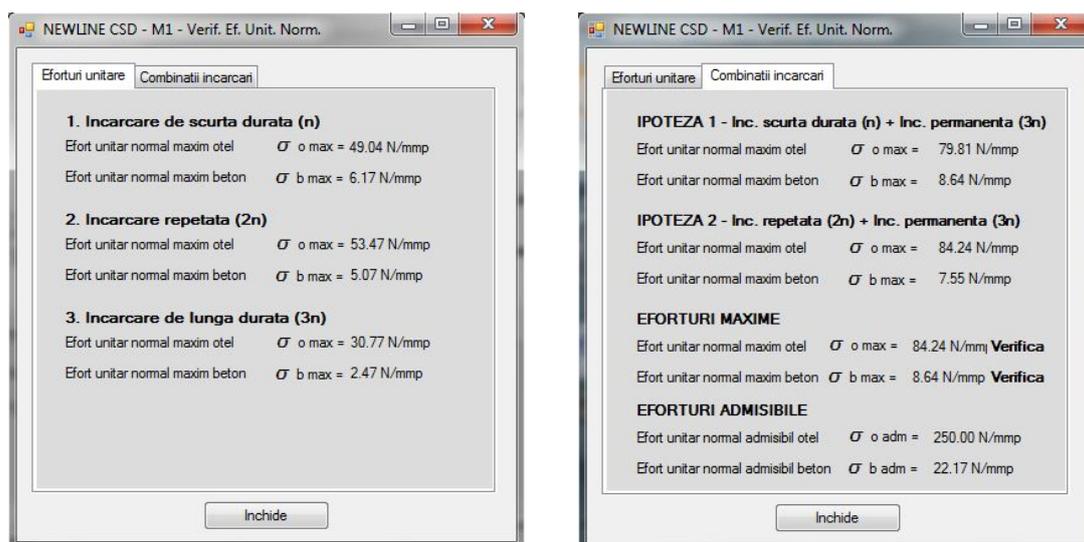
19. ábra. Geometriai jellemzők számítása figyelembe véve a beton lassú alakváltozását és zsugorodását

A teherbírási határállapot-számítás esetében a program csak a plasztikus semleges tengely helyzetét jeleníti meg.

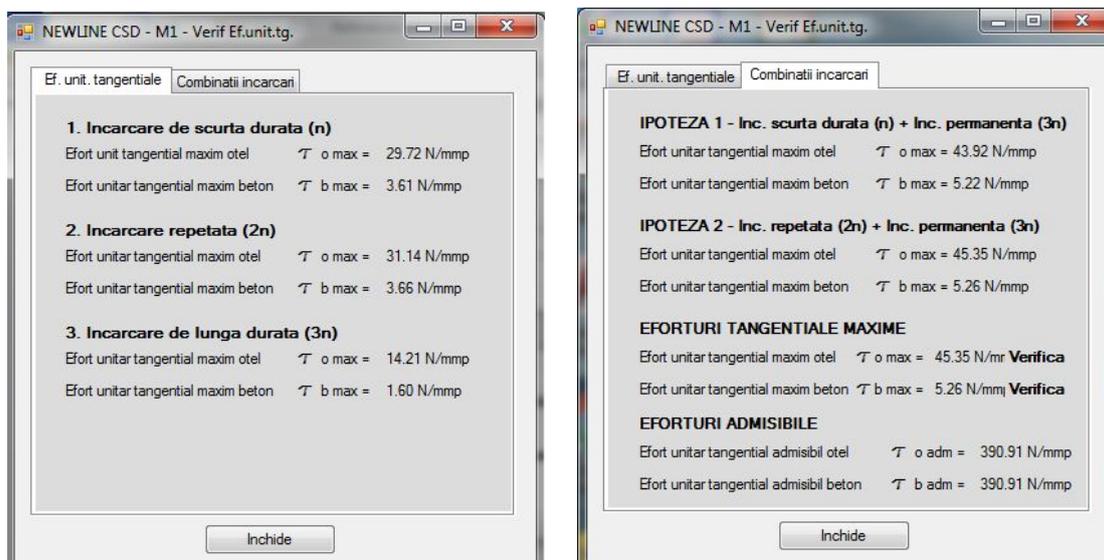


20. ábra. Plasztikus semleges tengely helyzete

A legjobban igénybe vett keresztmetszetben a program segítségével kiszámíthatók a normál-feszültségek (σ) a nyomott betonövben, a húzott acélővben valamint a csúszó-feszültségek (τ) mind a három állapotban, illetve a három állapot kombinált hipotéziseiben, figyelembe véve a vonat-terhelési szuperpozíció elvét.

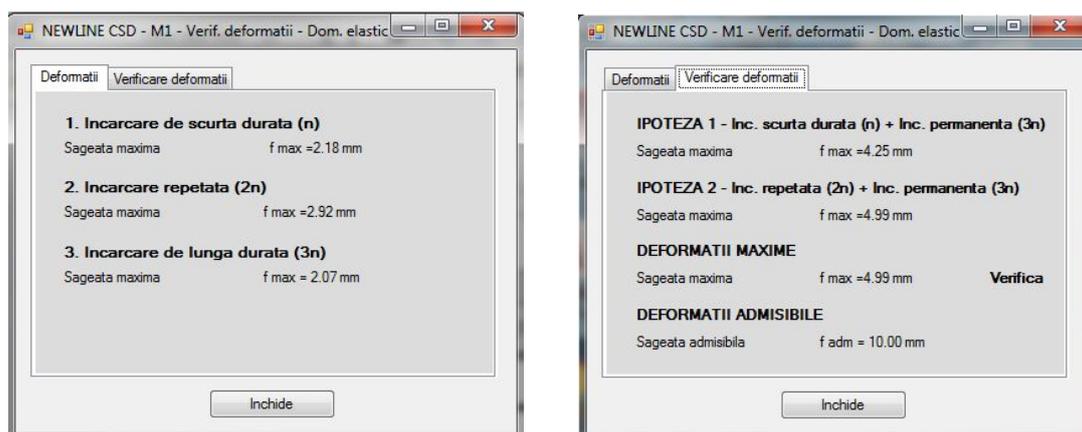


21. ábra. Normál-feszültségek



22. ábra. Csúszó-feszültségek

Továbbá a program kiszámítja a lemezszerkezet maximális lehajlásának értékét, és összehasonlítja a szabványok által megengedett legnagyobb lehajlással a legelőnytelenebb terhelési kombináció esetén, ($f_{\max} \leq f_{\text{megengedett}}$)

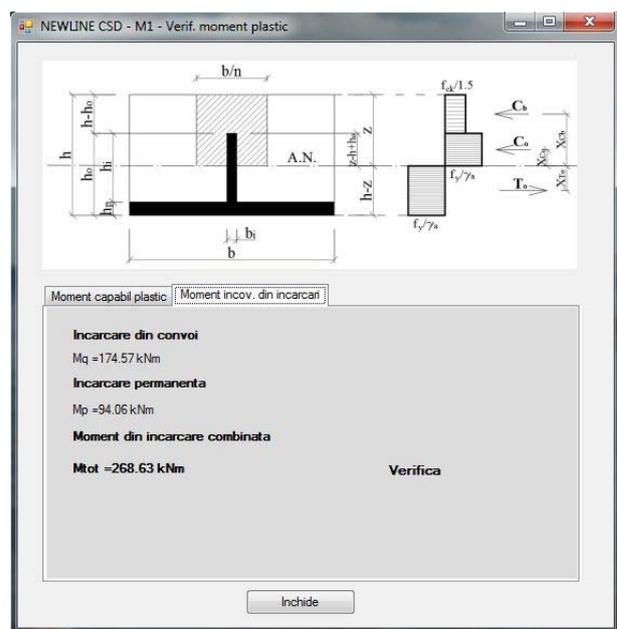
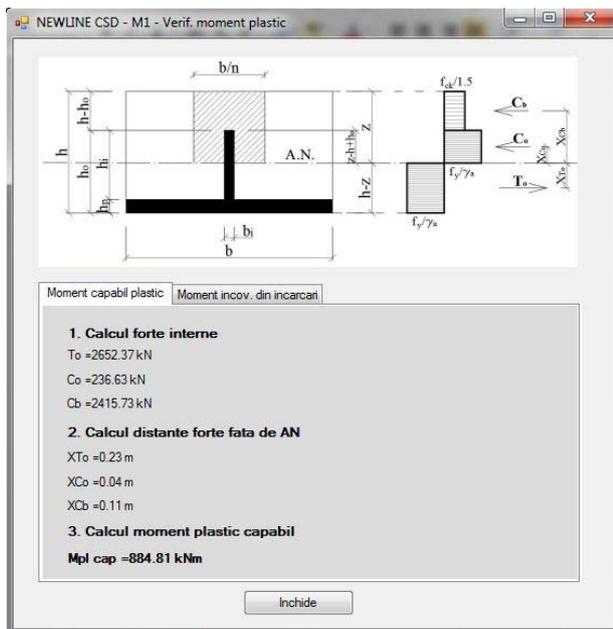


23. ábra. Maximális lehajlások

Minden egyes beton-, acéltípusra meg vannak adva a maximális megengedett feszültségek, melyeket a program összehasonlít a kiszámított normál-feszültségekkel (s) a nyomott betonövben, a húzott acélövben valamint a csúszó-feszültségekkel (τ), és értesíti a felhasználót abban az esetben, ha nem felelnek meg a maximális megengedett értékeknek.

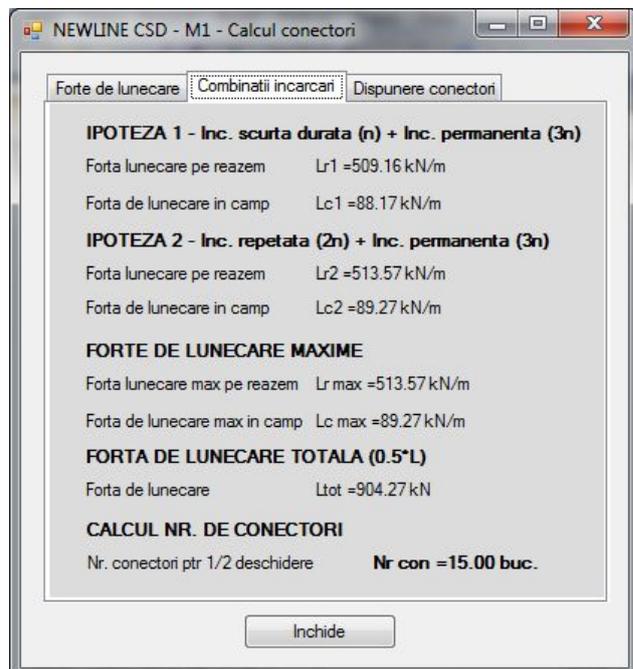
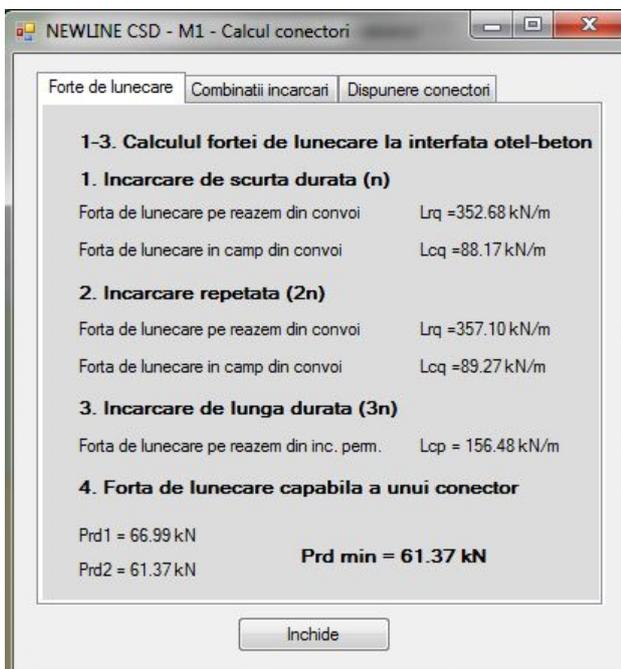
Az optimális számítási szerkezet elérése végett a különböző terhelési kombinálások után számított feszültségek (s, τ) elemzése után ($s_{\max} \leq s_{\text{megengedett}}$) a program lehetőséget biztosít bármilyen változtatásra, majd újravégzi az igénybevételek számítását.

A program kiszámítja a teherbírási határállapot hajlítónyomatékát, és összehasonlítja a maximális megengedett plasztikus hajlító-nyomatékkal.

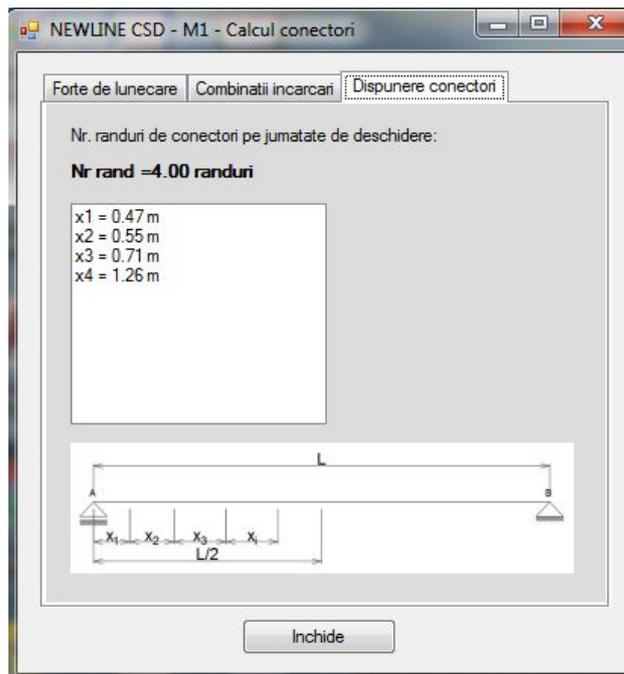


24. ábra. Hajlítónyomaték számítása teherbírási határállapot esetében

A kapcsolóelemek számítása a csúszóerők alapján történik mind a három terhelési állapot esetében. A program segítségével meghatározhatjuk a lemez fél hosszúságára jutó legnagyobb csúszóerőt, valamint ennek a változását, és egy megválasztott kapcsolóelem (több típusú kapcsolóelem is kiválasztható) esetén, ezeknek a számát és elhelyezését a lemez hosszában.



25. ábra. Csúszóerők számítása



26. ábra. Kapcsolóelemek elhelyezése a lemez hosszában

A Newline CSD tervezési program hatékonyabb felhasználása valamint az elért eredmények mentése végett a program lehetőséget nyújt az adatok rögzítésére Excel formátumban, valamint az eredmények nyomtatására.

A jövőben szeretnénk fejleszteni a Newline CSD programot újabb számítási egységek létrehozásával, melyek alkalmazása felhasználható legyen közúti hidak tervezésében is, valamint az ábrázolt rész kidolgozásán is szeretnénk fejlődni. Ez lehetővé teszi majd az acél-beton együttműködő vasúti és közúti lemez-hidak könnyebb tervezését, tervrajzok automatikus előállítását, így a Newline CSD tervezési program egy rugalmas, megbízható és nem utolsósorban nagyon könnyen kezelhető alternatívája lesz a már meglévő tervező-programoknak.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Gavril Köllő – Calculul suprastructurilor de tip dală având secțiunea mixtă oțel-beton utilizabile la podurile de cale ferată, Ed. U.T. Pres, Cluj Napoca 1999.
- [2] Edward Petzek, Radu Băncilă – Alcătuirea și calculul podurilor cu grinzi metalice înglobate în beton, Ed. Orizonturi Universitare, Timișoara 2006.
- [3] Petru Moga – Poduri. Suprastructuri metalice și compuse oțel-beton, U.T. Press, Cluj-Napoca, 2011