

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 találkoztunk 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 teknőhídstruktúra számítását tette lehetővé: tömör keresztmetszetű acél-beton lemez, üreges együttműködő öszvérlemez, acélcsövekből kialakított acél-beton együttműködő lemez.

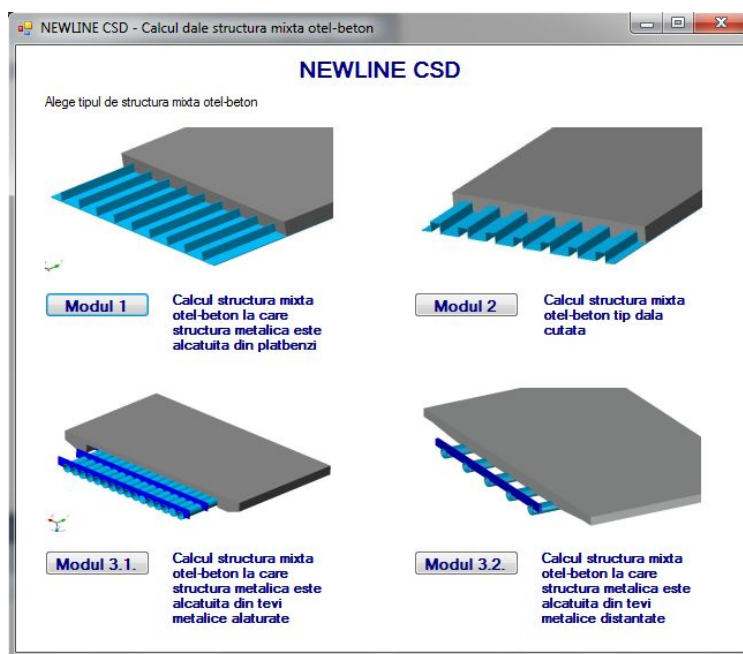
Ezt követően a tervezési program fejlesztésére került sor, és így jött létre a program új változata, a Newline CSD (Composite Structure Design) tervezési program, mely figyelembe veszi az európai szabványok (Eurocode) új tervezési követelményeit is.

A Newline CSD tervezési program az együttműködő acél-beton teknőhídstruktúrák 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.

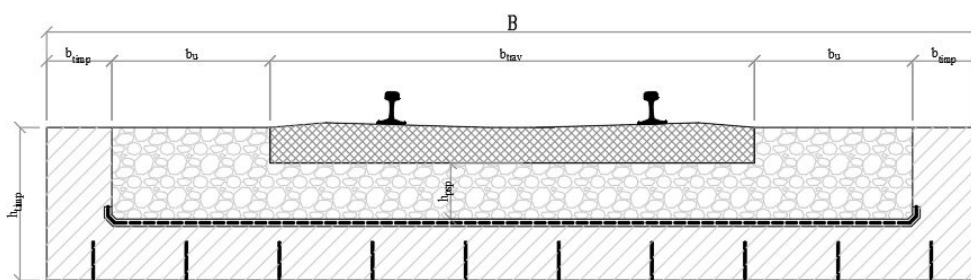
A NEWLINE CSD PROGRAM BEMUTATÁSA

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:



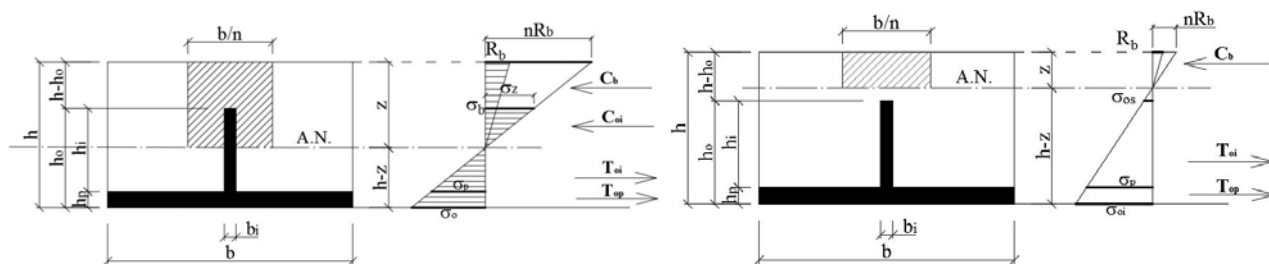
1. ábra

- ❖ tömör keresztmetszetű acél-beton I



2. ábra

Számítási modell:

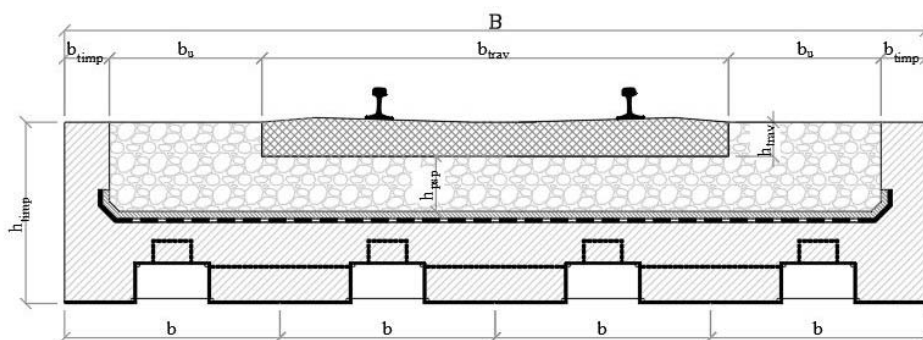


I. hipotézis – semleges tengely az acélban

II. hipotézis – semleges tengely a betonban

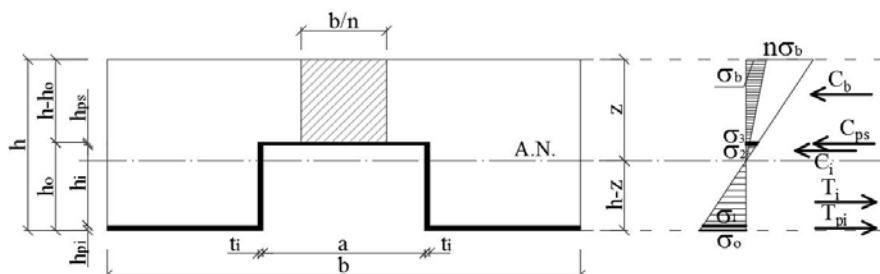
3. ábra

❖ üreges együttműködő öszvérlemez:

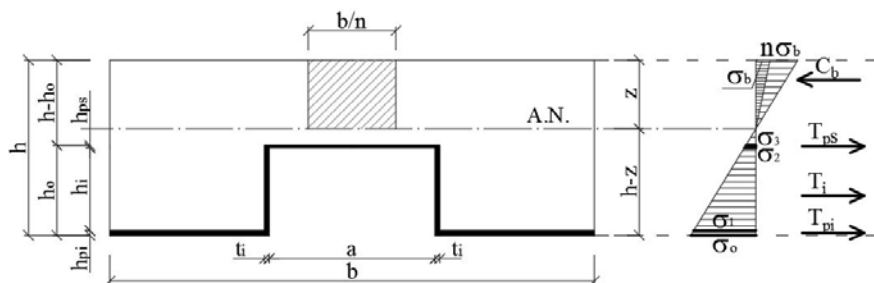


4. ábra

Számítási modell:



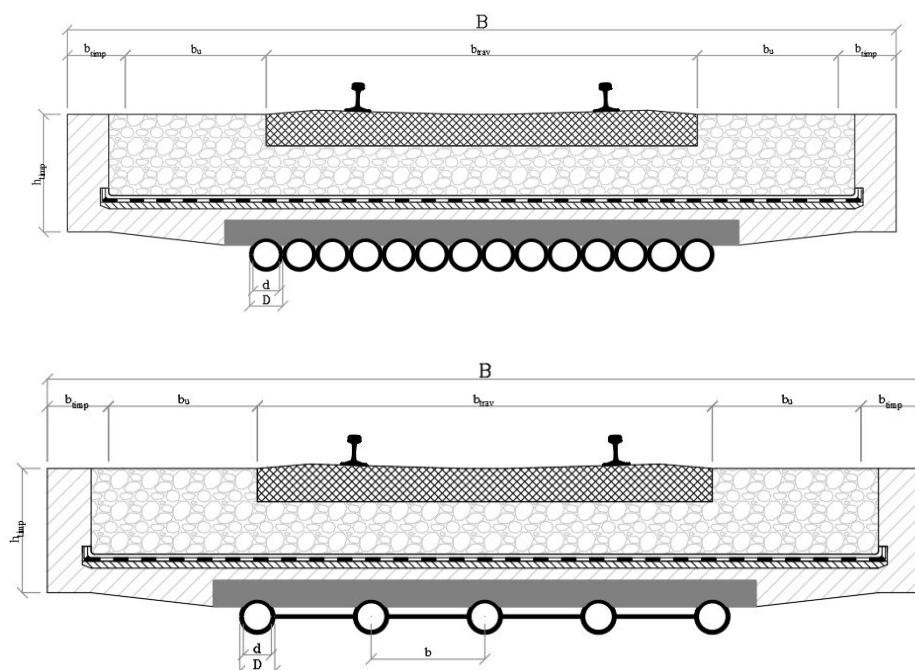
I. hipotézis – semleges tengely az acélban



II. hipotézis – semleges tengely a betonban

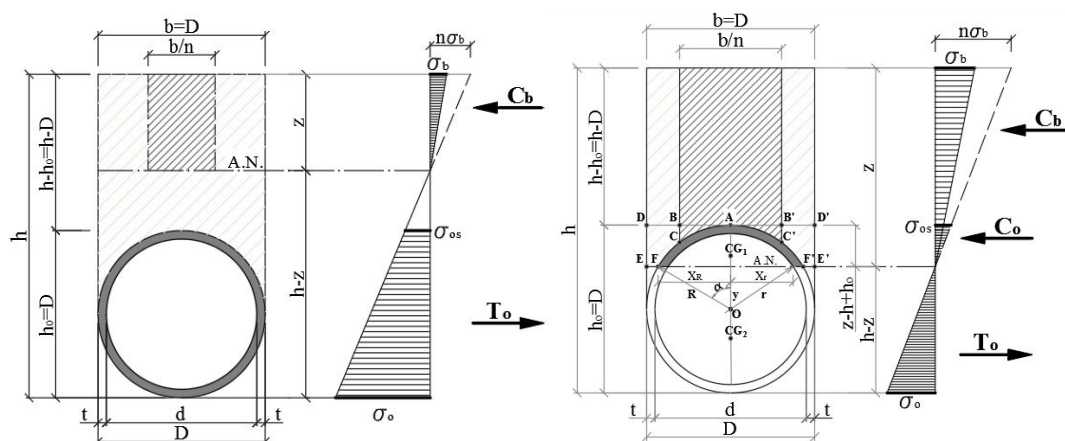
5. ábra

❖ acélcsővekből kialakított acél-beton együttműködő lemez:



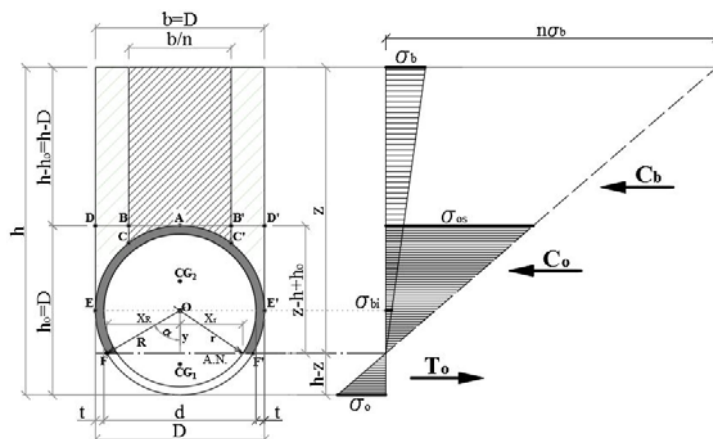
6. ábra

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

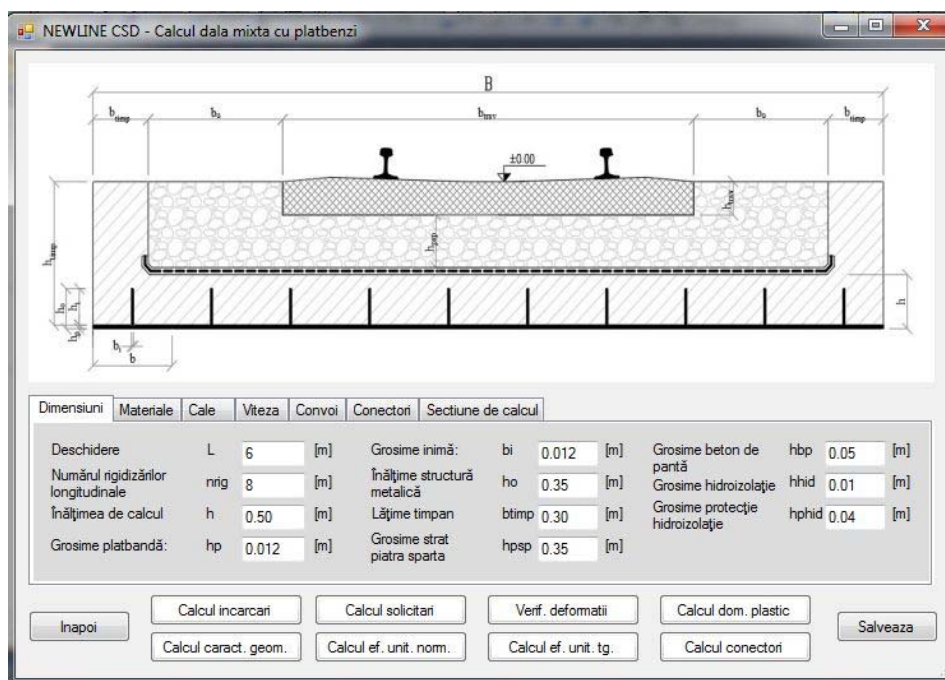
A tervezési folyamatnak egyik legfontosabb szakasza a szerkezet méretezése. A program hét csoportra osztja be és kéri a felhasználótól a szerkezet méretezésére szükséges adatokat a következőképpen:

- 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

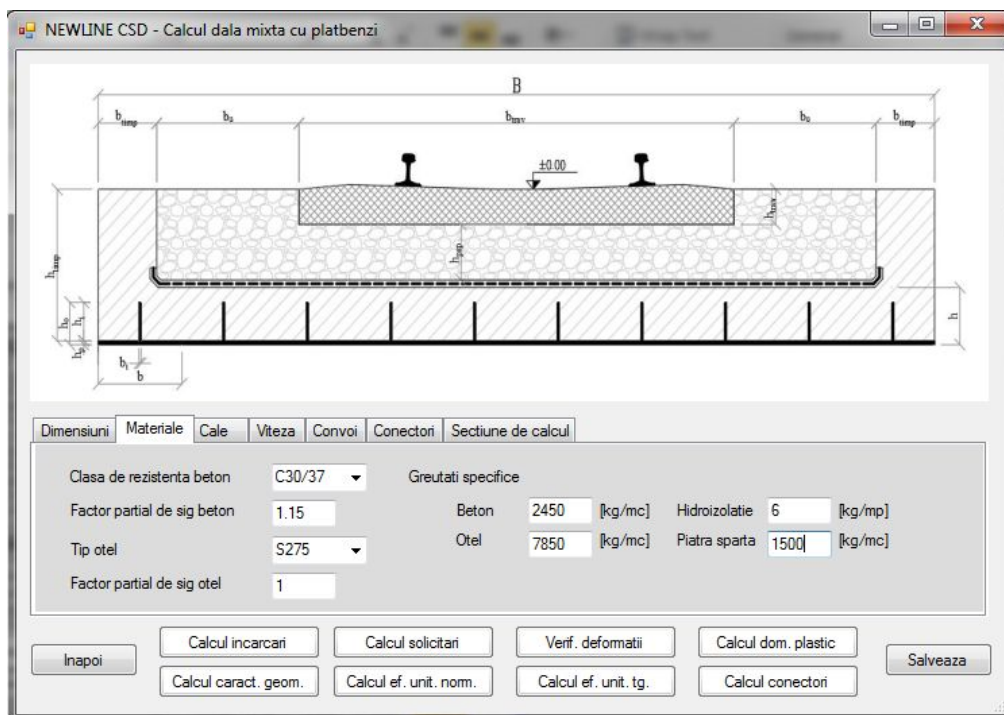
A geometriai méretek meghatározása keretében a keresztmetszeti elemek méretezésére valamint a híd nyílásának kiválasztására kerül sor (8. ábra).

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).

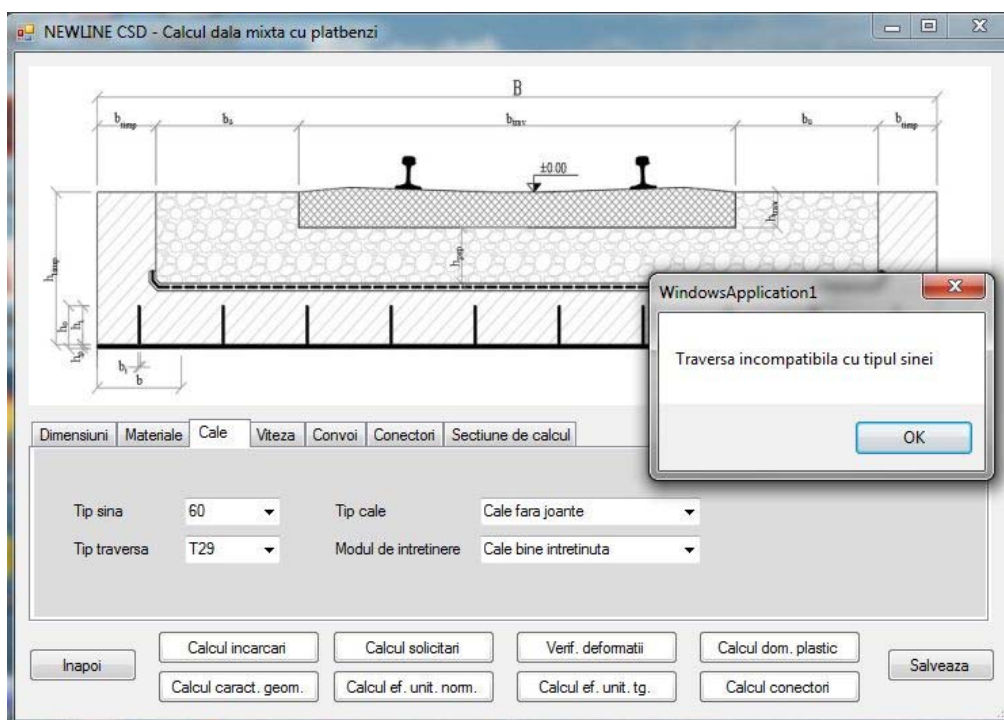
A pálya jellemzőinek meghatározási szakaszában lehet kiválasztani a megfelelő aljat és sántípust. A program úgy van kialakítva, hogy nem engedélyezi a felhasználónak, hogy egy olyan aljat válasszon amely nem kompatibilis a sántípussal, hibaüzenettel jelezve ezt (10. ábra). A pálya típusa és ennek a karbantartási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



8. ábra. Méretezés - Geometriai méretek meghatározása

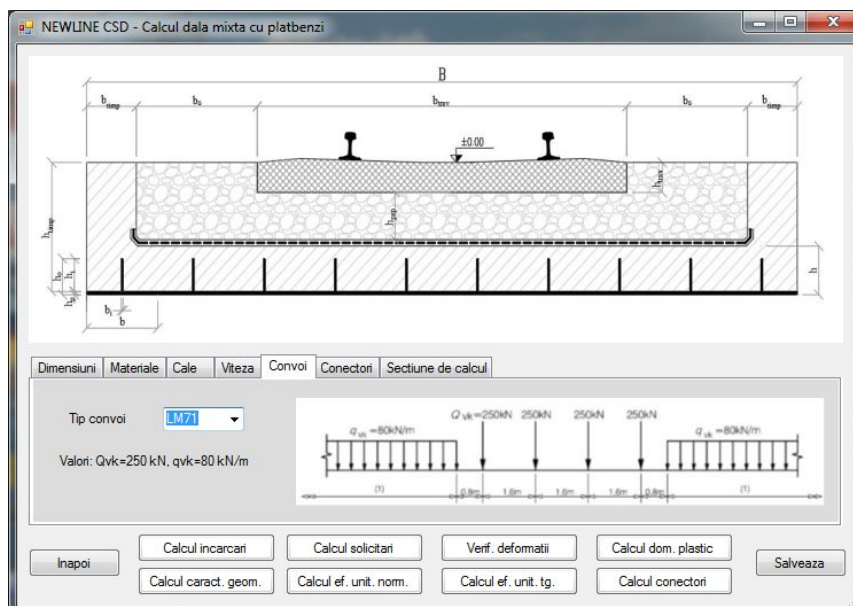


9. ábra. Méretezés – Anyagok kiválasztása



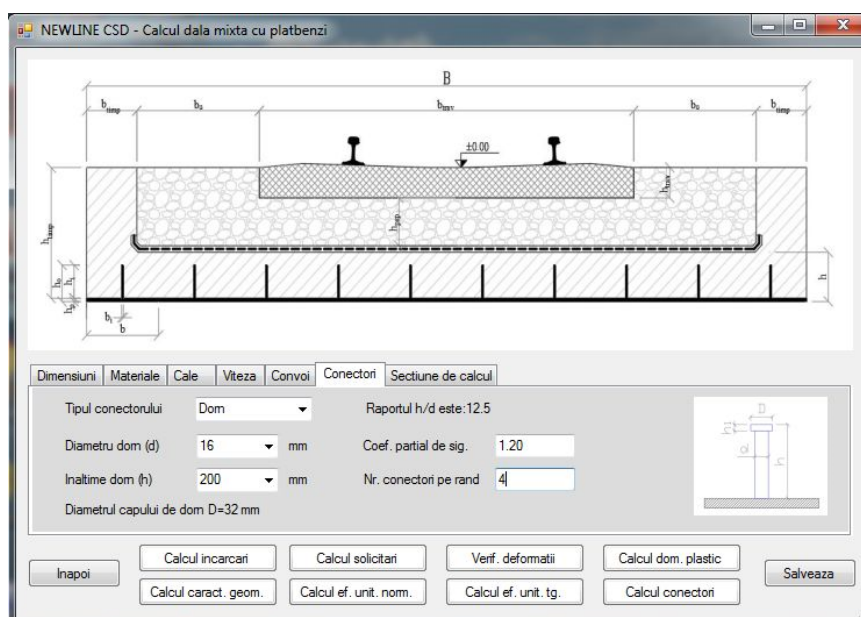
10. ábra. Méretezés – A pálya jellemzőinek meghatározása

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, hajlítótényomaték - 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).

NEWLINE CSD - M1 - Calcul incarcari

Incarcari permanente Incarcari variabile

1. Incarcarea data de otelul structural	88.99 daN/m
2. Incarcarea data de betonul din dala	723.30 daN/m
3. Incarcarea data de betonul de panta	75.11 daN/m
4. Incarcarea data de hidroizolatie	3.68 daN/m
5. Incarcarea data de betonul de protectie	60.09 daN/m
6. Incarcarea data de prismul de piatra sparta	321.89 daN/m
7. Incarcarea data de materialul marunt	4.45 daN/m
8. Incarcarea data de traverse	211.90 daN/m
9. Incarcarea data de sine	58.86 daN/m
TOTAL INCARCARE PERMANENTA	1548.26 daN/m

Inchide

NEWLINE CSD - M1 - Calcul incarcari

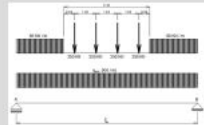
Incarcari permanente Incarcari variabile

Incarcari din convoi tip LM71

Încărcare uniform distribuită echivalentă ptr calcul MOMENT (kN/m)
Valoare qechM = 38.79 kN/m

Încărcare uniform distr. echivalentă ptr calcul FORTA TAIETOARE (kN/m)
Valoare qechT = 47.77 kN/m

Coefficient dinamic
Valoare Coef Din = 1.46



Inchide

13. ábra. Az állandó és vonat-terhelések kiszámítása

NEWLINE CSD - M1-Calcul solicitari

Incarcari permanente Incarcari variabile Frecventa proprie

Mmax = 94.06 kNm
Tmax = 62.70 kN
Afiseaza diagrame

Calcul solicitari in sectiunea aleasa

Mx = 91.44 kNm
Tx = 10.45 kN
Sageata la mijlocul deschiderii din incarcare permanenta
fgmax = 2.07 mm

Inchide

NEWLINE CSD - M1 - Calcul incarcari

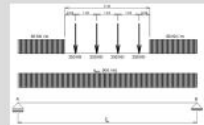
Incarcari permanente Incarcari variabile

Incarcari din convoi tip LM71

Încărcare uniform distribuită echivalentă ptr calcul MOMENT (kN/m)
Valoare qechM = 38.79 kN/m

Încărcare uniform distr. echivalentă ptr calcul FORTA TAIETOARE (kN/m)
Valoare qechT = 47.77 kN/m

Coefficient dinamic
Valoare Coef Din = 1.46



Inchide

14. ábra. Az igénybevételek meghatározása

NEWLINE CSD - M1-Calcul solicitari

Incarcari permanente Incarcari variabile Frecventa proprie

Limita frecventei minime
Frecv min = 13.33 Hz

Limita frecventei maxime
Frecv max = 24.81 Hz

Frecventa proprie a structurii
Frecv prop = 12.33 Hz

Analiza dinamica

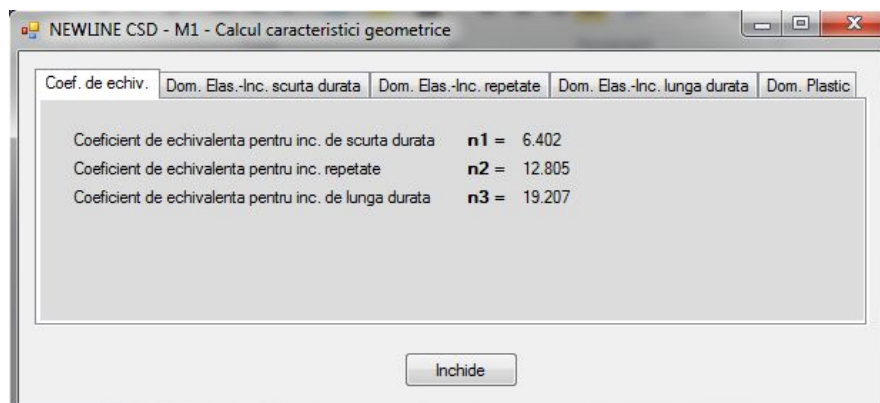
Inchide

15. ábra. Az önnrezgésszám 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:

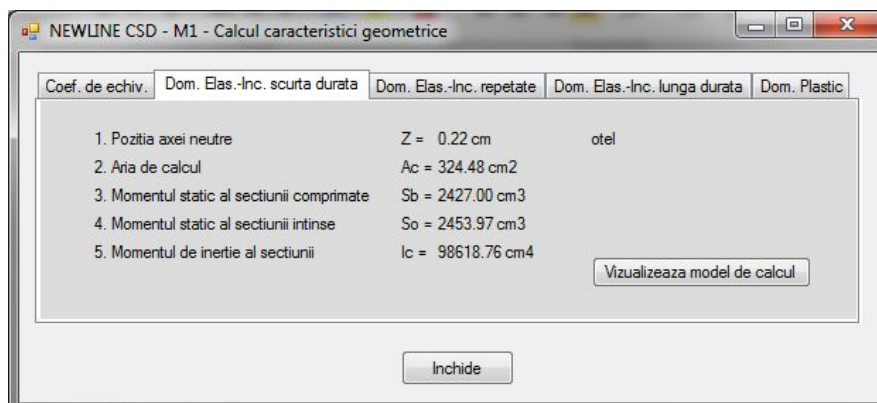
- rövid ideig ható terhelés esetében (vonat-terhelés);
- a beton lassú alakváltozásainak és zsugorodásának figyelembevételével;
- figyelembe véve a rövid ideig ható terhelés gyakoriságát (fáradás jelensége).

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

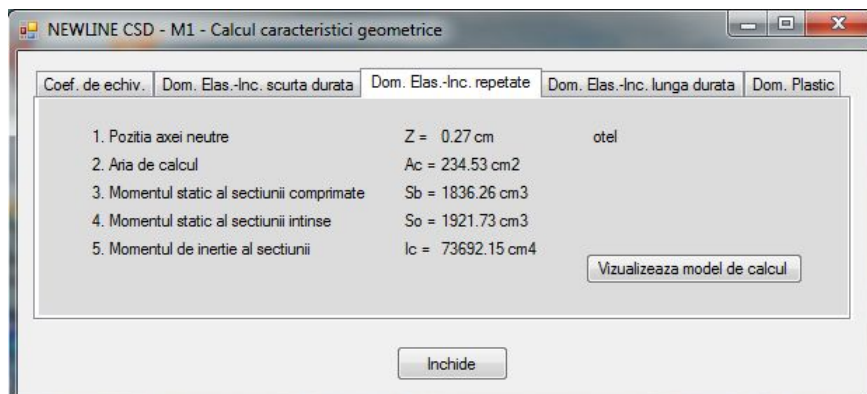


16. ábra. Redukáló tényező

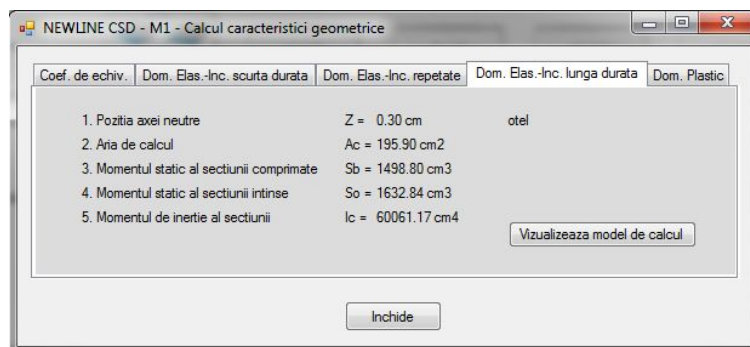
Az átalakított keresztmetszet geometriai jellemzőit az előbb említett három állapotban számítja a program (17-19. ábra).



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

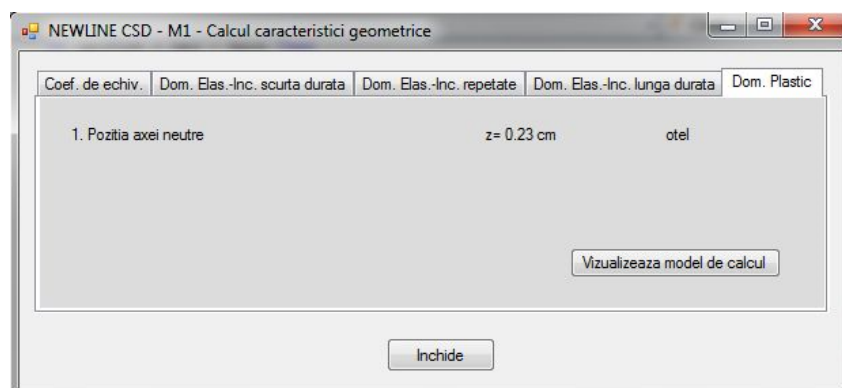


18. ábra. Geometriai jellemzők számítása figyelembe véve a rövid ideig ható terhelés gyakoriságát



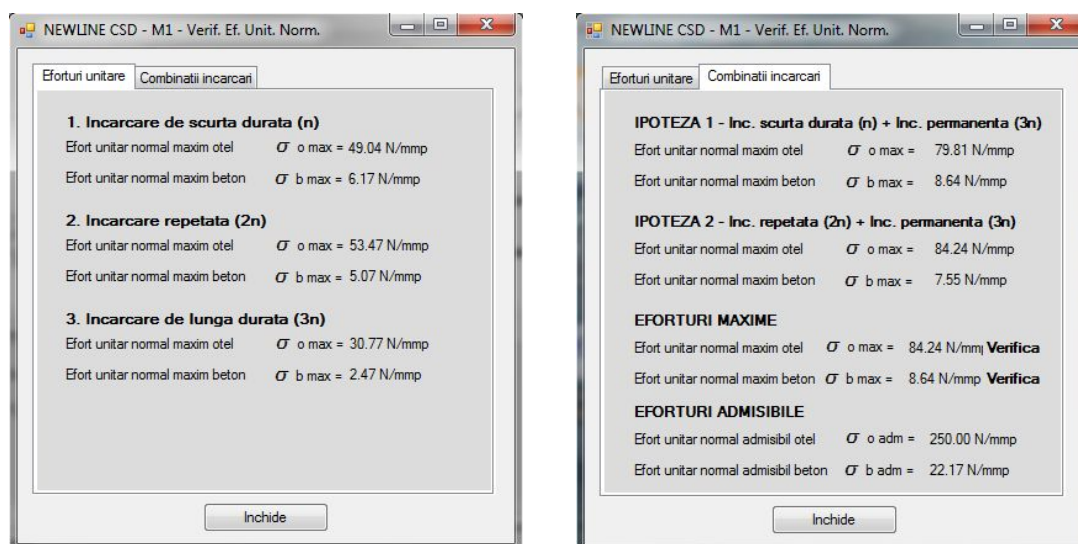
19. ábra. Geometria jellemzők számítása figyelembe véve a beton lassú alakváltozását és zsugorodását

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

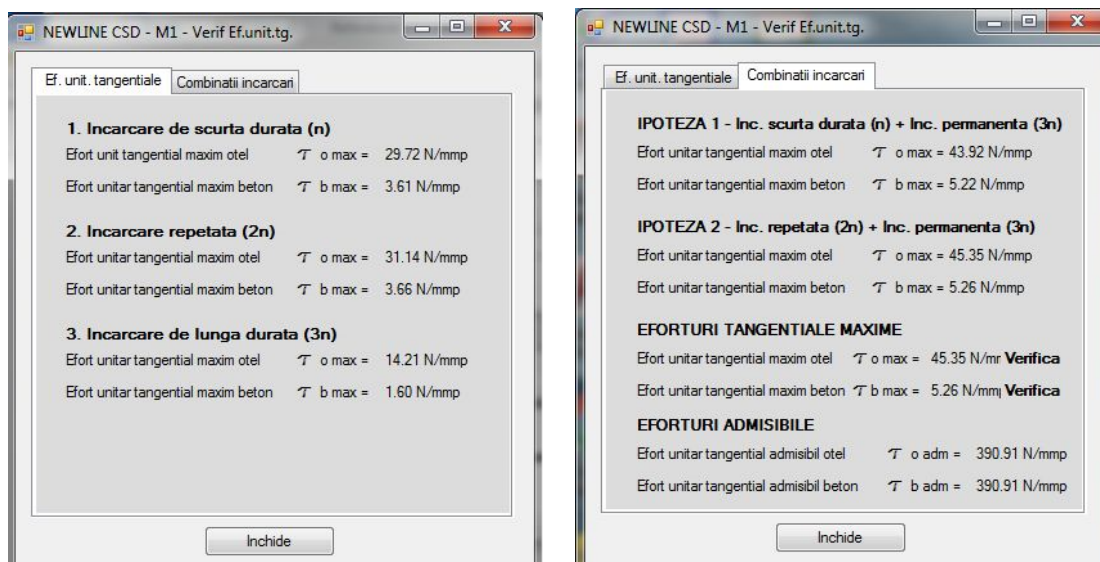


20. ábra. Plasztikus semleges tengely helyzete

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

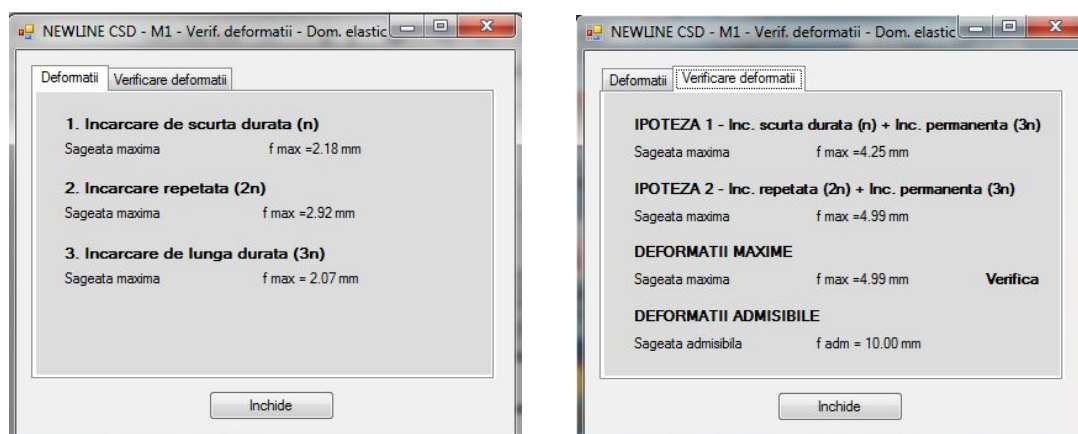


21. ábra. Normál-feszültségek



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, ($f_{\max} \leq f_{\text{megengedett}}$)

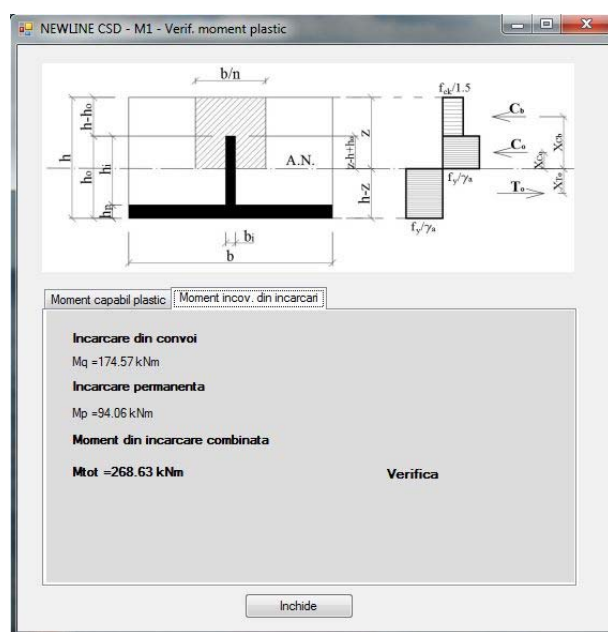
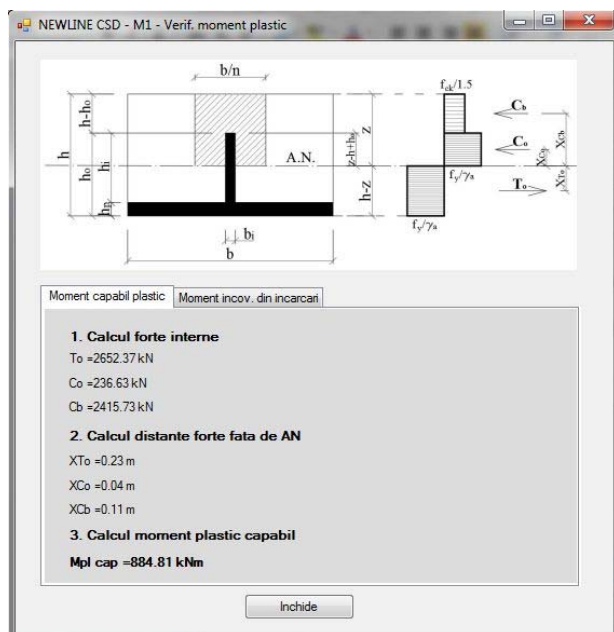


23. ábra. Maximális lehajlások

Minden egyes beton-, acéltípusra meg vannak adva a maximális megengedett feszültségek, melyeket a program összehasonlít a kiszámított normál-feszültségekkel (σ) 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.

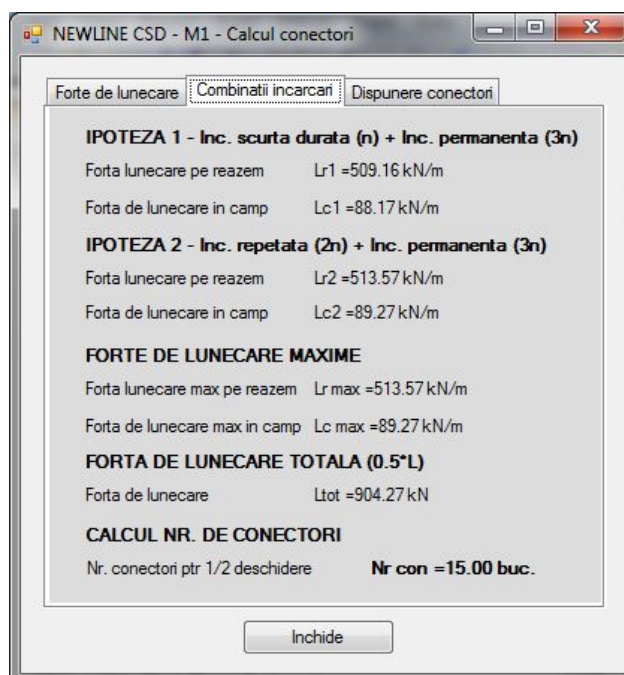
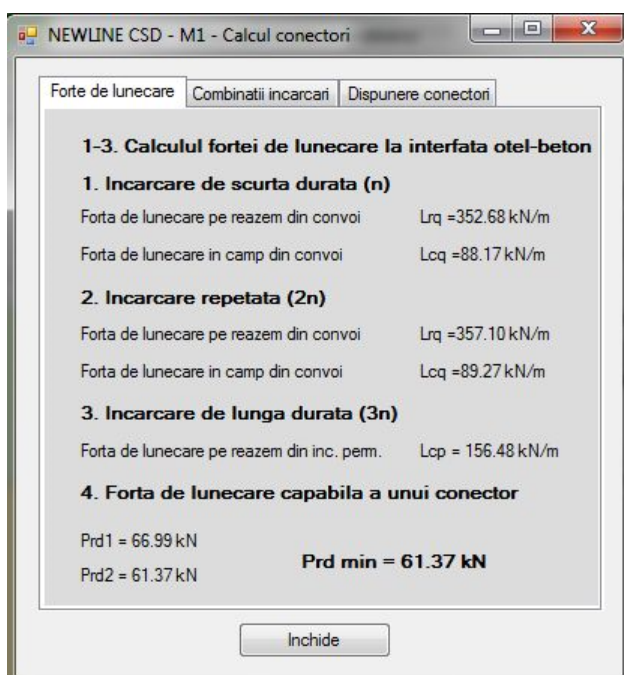
Az optimális számítási szerkezet elérése végett a különböző terhelési kombinálások után számított feszültségek (σ, τ) elemzése után ($\sigma_{\max} \leq \sigma_{\text{megengedett}}$) a program lehetőséget biztosít bármilyen változtatásra, majd újravégzi az igénybevételek számítását.

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

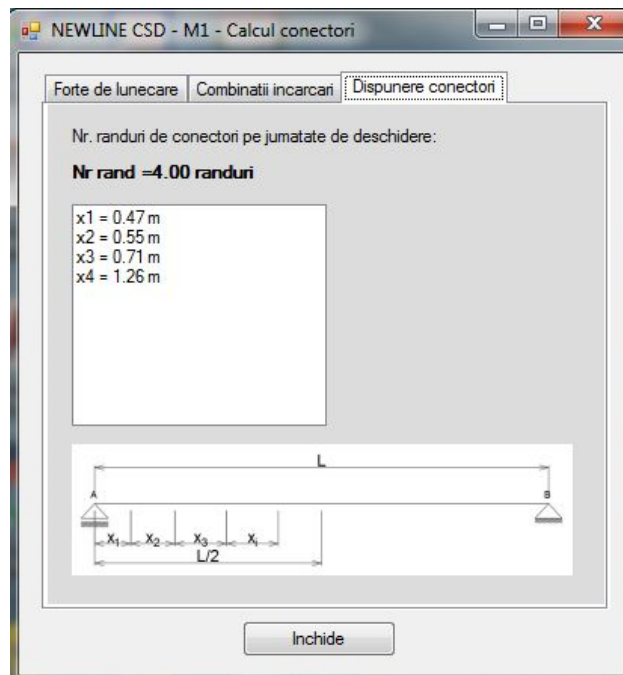


24. ábra. Hajlítónyomaték számítása teherbírási határállapot esetében

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