

PECSÉTNYOMÁSSAL TERHELT PRIZMATIKUS BETONOSZLOPOK VISELKEDÉSÉNEK NUMERIKUS VIZSGÁLATA

*Verók Krisztián**

RÖVID KIVONAT

Az építőiparral kapcsolatos kutatási területeknek egy még ma is viszonylag fejlődő területe a kompozitokkal történő megerősítésekkel foglalkozó analitikus vagy numerikus vizsgálatok végzése. E témakörben számos kutatási irány található, mint például szárerősítésű betonok alkalmazása, vagy éppen gerendák és oszlopok utólagos hajlítási, nyírási megerősítése különböző, például szénszálas anyagok alkalmazásával. Az utóbbi kutatási irányhoz csatlakozik a készülő doktori értekezésem.

A cikk bemutatja egy igen kis irodalmi háttérrel rendelkező területen – a pecsétnyomással terhelt és szénszállal megerősített prizmatikus betonoszlopokkal – végzett kísérleteinket és az azokon alapuló numerikus vizsgálataink eredményeit.

1. BEVEZETÉS

A pecsétnyomással terhelt, szénszállal megerősített prizmatikus betonoszlopokkal kapcsolatosan semmilyen utalás nem található a szénszálas megerősítésekkel foglalkozó és igen szélesnek mondható irodalomban, annak ellenére, hogy a téma igen aktuális lehet világszerte mint az a következőkből kiderül.

A probléma Franciaországban vetődött fel, ahol ilyen, nagyszilárdságú betonokból készült pecsétnyomással terhelt prizmatikus betonoszlopokkal különböző teherbírási és tartóssági problémák merültek fel. Ezek miatt vált szükségessé az 1999-ben, a *Laboratoire Central des Ponts et Chaussées*-n (LCPC) indított és pecsétnyomással terhelt 200x200x600 mm-es vasalt és vasalatlan prizmatikus oszlopokkal foglalkozó kísérletsorozat [1].

Eredményeik azt mutatták, hogy a francia szabvány [2] alapján méretezett oszlopok biztonsága (melyet a szemmel észlelt, vagy műszeresen detektált első repedéshez tartozó pecsétnyomás, és a francia szabályzatok szerint az első repedés megjelenéséhez számítható pecsétnyomás hányadosaként definiálhatunk) a beton szilárdságának növelésével akár 1-nél kisebb is lehet.

A megerősítés szerepe azért került előtérbe, mert Franciaországban számtalan olyan, pecsétnyomással terhelt hídoszlopot találhatunk, amelyeket az említett szabvány segítségével terveztek, így kétséges, hogy megfelelnek-e a biztonsági követelményeknek. Ezek érdekében indult az ebben a cikkben csak tömören ismertetésre kerülő kísérlet sorozat, ahol azt próbáltuk megvizsgálni, hogy miként

* okl. építőmérnök, doktorandusz hallgató, BME Hidak és Szerkezetek Tanszéke

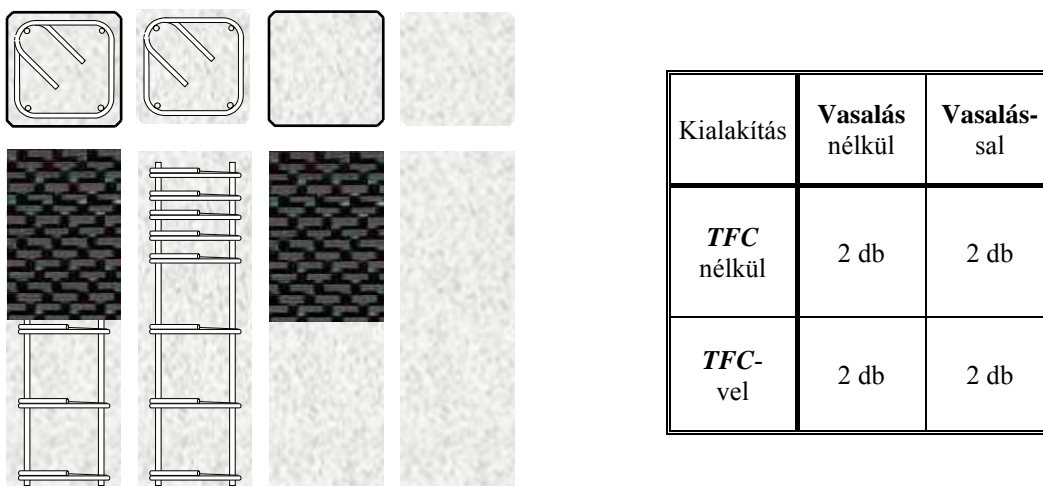
viselkedik egy megerősített 200x200x600 mm-es prizmatikus betonoszlop pecsétnyomás hatására.

2. A KÍSÉRLETEK

2.1. A próbatestek és a kísérleti vizsgálatok

Ahhoz, hogy a megerősítési kísérletek eredményei összehasonlíthatóak legyenek a korábbi kísérletekével, a próbatestek geometriai méreteit és a vasalását ugyan olyanra vettük fel, mint amilyen az az előzőekben volt. Előzetesen csak a legkisebb szilárdságú, azaz kb. 50 MPa átlagszilárdságú próbatest viselkedését vizsgáltuk meg.

Ehhez a betonszilárdsághoz 8 db próbatest készült, hogy minél teljesebb képet kaphassunk a különböző megerősítés viselkedéséről. A prizmák kialakítását és darabszámát az 1. ábra és a mellékelt táblázat mutatja.



2. ábra. A próbatestek

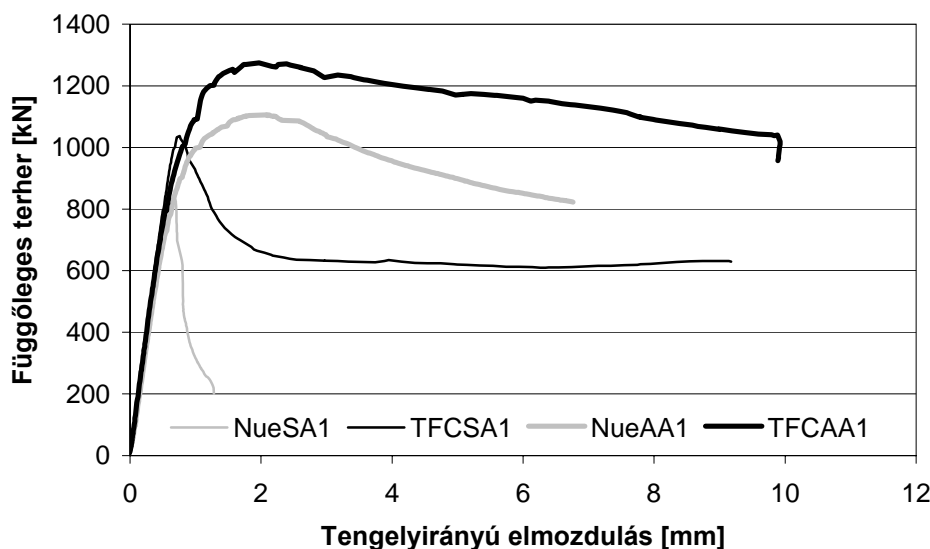
A próbatestek pontos méretei és vasalása, a *TFC* felragasztása és a kiegészítő műveletetek részletesebben a [3] irodalomban található. Az alkalmazott szövet T700SC-12000-5C típusú, 30 cm szélességű szénszálas paplan volt.

A kísérleteket egy 5000 kN törőkapacitású, D=320 mm-es terhelőlapú nyomógépen végeztük.

2.2. A kísérleti eredmények

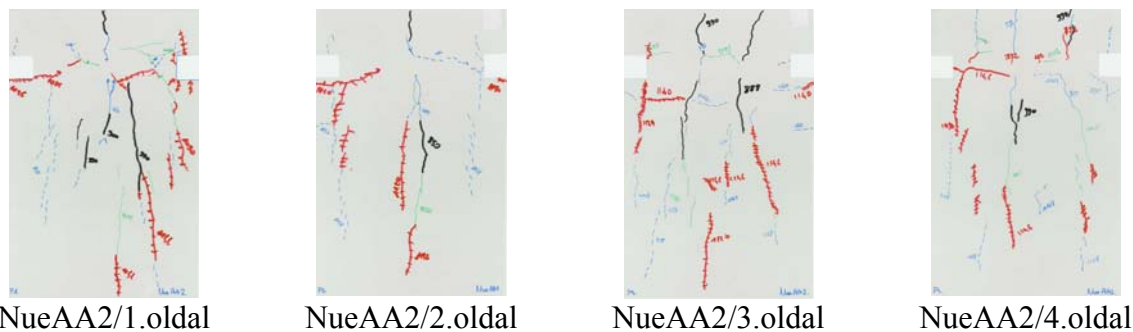
A mérési eredményeket a 3. ábra szemlélteti. Az első repedések az azonos típusú próbatesteken nagyjából egy időben keletkeztek és azok a lágyacél vasalással ellátott próbatesteken korábban jelentkeztek, mint a vasalatlan próbatesteken.

A *TFC* megerősítés vasalás nélküli esetben átlagosan 885 kN-ról 1032 kN-ra növelte a teherbírást, ami 15%-os növekedést jelent, míg a teherbírás vasalt esetben 1144 kN-ról 1274 kN-ra nőtt, ami csupán 10%-os növekedést jelent [3].



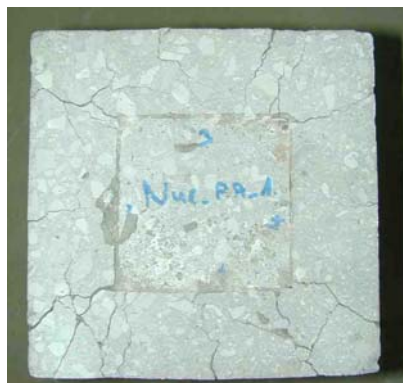
3. ábra. A négy típusú próbatest erő-elmozdulás görbéi

A szénzállal nem megerősített és vasalatlan (*NueSA*) próbatest kb. 1 mm elmozdulásnál tönkrement, míg a vasalatlan, de megerősített (*TFCSA*) oszlopon több mint 10 mm összenyomódás alakult ki. A vasalt (*NueAA*) próbatest kb. 6 mm-es elmozdulási érték mellett ment tönkre erős repedezettség mellett (4. ábra), nagy betonfedés degradációval és a megerősített és vasalt (*TFCAA*) próbatestnél ugyancsak több mint 10 mm összenyomódás alakult ki.



4. ábra. Repedezettségi kép a *NueAA2* próbatesten

A vasalt próbatesteknél az oldalközepeken alakultak ki az első függőleges repedések, de a repedéseinek helye jól mutatja a függőleges vasak elhelyezkedését is, ahogy ez a 4. ábrából kivehető. A pecsénymófejtől több 10 mm-es benyomódásának hatása nem volt észlelhető a megerősített próbatesteknél a külső megerősített szakasz alatti betonrész tönkremenetelének formájában. A benyomódás felülnézete és az általa okozott repedezettség az 5. ábrán látható.



5. ábra. A nyomódási kúp felülnézete a *NueAA1* próbatesten

A tönkremeneteli mechanizmus a vasalt megerősítetlen próbatesteken a korábbi vizsgálatokban a nyomódott kúp miatt a hosszanti acélbetétek folyása közben létrejövő kihajlás okozta betonfedés lerepedés miatt jön létre. A teljes betonfedés lerepedése jelentős keresztmetszet csökkenést eredményez, mely a próbatestek tönkremeneteléhez vezet.

Ez a jelenség a megerősítés hatására módosul, hiszen a *TFC* körbeabroncsolja a próbatestet, így az nem tudja ledobni a betonfedését. Mivel azonban a prizmatikus oszlopok megerősítése során a keresztirányú feszültségek kialakulását a *TFC* nem tudja olyan hatékonyan felvenni, mint hengeres oszlopoknál, a megerősítésnek a teherbírásra nincs jelentős hatással.

A megerősítésnek az alakváltozásokra van jelentős hatása. Ahogy a *TFC*-vel körbevett beton a nyomóerő hatására kezd tönkremenni, úgy nő a keresztirányú alakváltozása. Közvetlenül a törés előtt a *TFC* összefogja azt, és ezzel többlet nyomóerő felvételét teszi lehetővé a keresztirányú alakváltozás gátlásával. Ezen folyamat közben viszont jelentős összenyomódás alakul ki, ahogy ez a kísérleti próbatestek viselkedéséből is látszik.

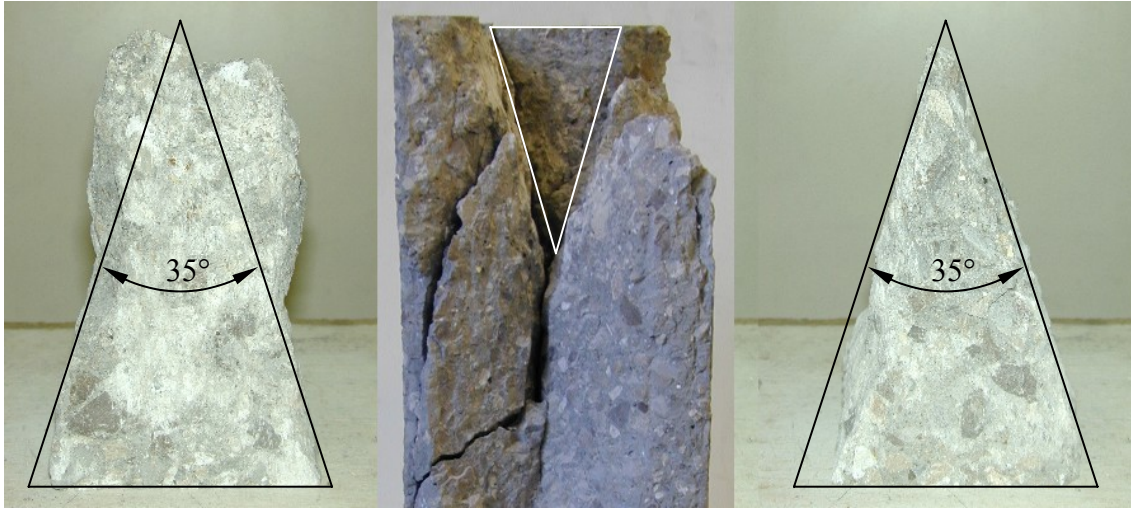
Célul tűztük ki a tönkremenetel numerikus modellezését, amit igen megnehezít a pecsétnyomás alatti erőjáték sajátossága okozta repedezettség és tönkremeneteli mód.

2. NUMERIKUS MODELLEZÉS

A pecsétnyomás numerikus modellezésben még csak kezdeti eredményeink vannak, olyannyira, hogy a megerősítés hatásával még nem is foglalkoztunk, hiszen először a pecsét alatti erőjáték kezelését kívántuk teljes bizonyossággal rekonstruálni, és csak a következő lépésekben szándékozunk rátérni a vasalás, vagy/és a *TFC*-s megerősítés hatásának vizsgálatára.

A numerikus modellezés tárgyát jelen esetben az képezi, hogy a pecsétnyomás hatására kialakuló nyomódási kúp kialakulását reprodukálni tudjuk vasalatlan beton próbatesten. Lágyvasalás és/vagy tekerceselés hatására ennek a nyomódási kúpnak a csúcshöge változik, hiszen keresztirányú alakváltozások gátlásával nő a belső sűrűdés.

A benyomódási kúp oldalnézetei például vasalatlan *TFC* megerősítéses próbatest esetben a 6. ábrán látható, csúcsszöge 35° -ra adódott, míg ez a szög a *TFC* megerősítéses nélkül 60° körüli érték lenne.



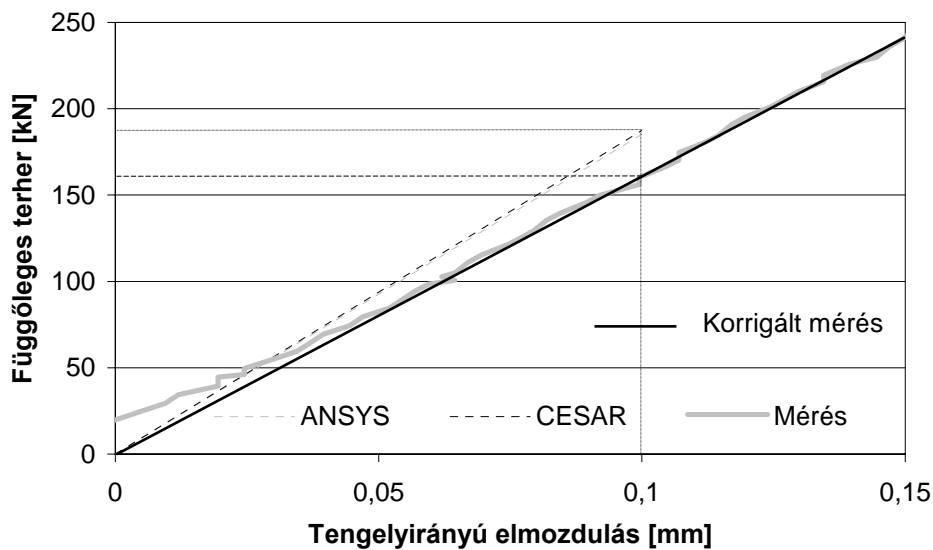
6. ábra. A *TFC*SA2 próbatest benyomódási kúpjának nézetei

A numerikus vizsgálatához két végeelemes szoftvercsalád került kipróbálásra. Az egyik az *LCPC*-n kifejlesztett és folyamatosan bővítés alatt álló *CESAR* végeelemes program, mely kimondottan az építőmérnöki gyakorlatban előforduló problémák megoldására készült, valamint a Tanszéken is megtalálható *ANSYS* végeelemes program, melynek különböző számítási moduljai széleskörű felhasználást tesznek lehetővé, továbbá kezelni tudják a beton repedeztségének hatását is. Mind a két esetben olyan programról van szó, mely mind 2D-os és 3D-os, valamint lineáris és nem-lineáris problémák megoldását is lehetővé teszi.

Jelen cikkben egy vasalatlan beton próbatest 3D modelljének, a két programmal elért eredményeit hasonlítjuk össze. A 3D-os modellre a keresztirányú merevítő hatás miatt van szükség. Mindkét esetben $0,1$ mm függőleges elmozdulást alkalmaztunk a pecséten. Ez az elmozdulás érték még jóval az első felszíni repedések kialakulásához tartozó függőleges elmozdulás alatt van.

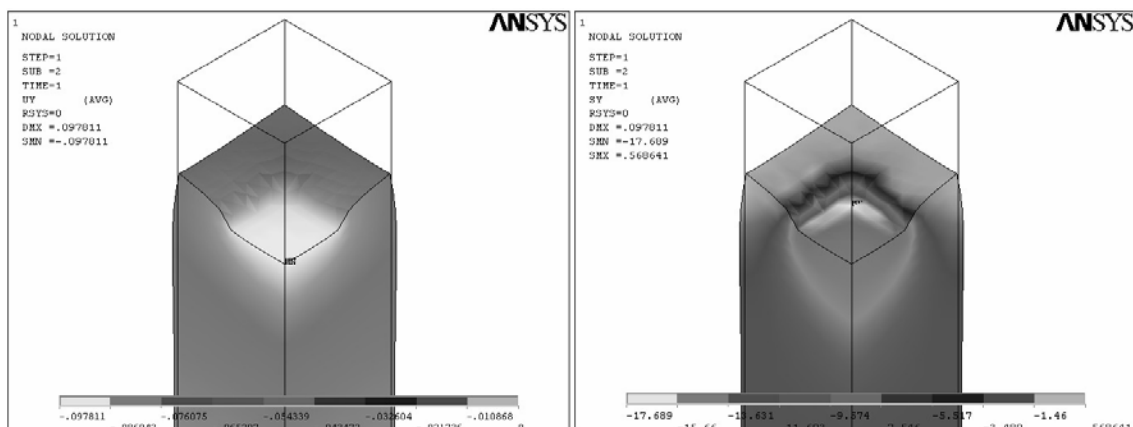
Az alkalmazott elmozdulásra a két végeelemes program szinte teljesen megegyező axiális erőt adott, mely a 7. ábrán látható. A mérés mellett annak korrigált görbéje is megtalálható az ábrában vastagabb fekete vonallal szedve.

Az előírt $0,1$ mm-es függőleges elmozduláshoz a *CESAR* 188 kN, az *ANSYS* 185 kN axiális terhet adott szemben a 160 kN mért teherrel, mely kb. $17,5\%$ hibát jelent. A merekségi hiba a merevségi mátrix összeállításából eredhet. A bemenő adatok pontosabb meghatározásával ez a probléma valószínűleg korrigálható.



7. ábra. A végelelemes programok és a mérési eredmény összehasonlítása

Az ANSYS által szolgáltatott eredmények közül kettő szerepel a 8. ábrán. Baloldalon a függőleges elmozdulási, a jobb oldalon pedig a függőleges feszültségi ábrát tüntettük fel kinagyítva a próbatest felső részére.



8. ábra. Az ANSYS függőleges elmozdulási és feszültségi ábrája a negyed keresztmetszetre

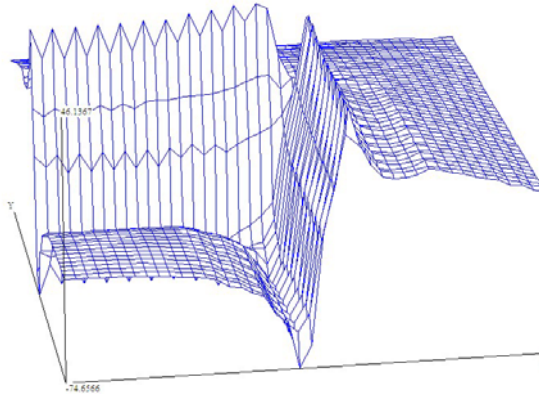
A program szemléletesen visszaadja a pecsét benyomódását és az általa okozott keresztirányú duzzadást, valamint az az alatti erőjátékot.

A CESAR esetében nincs egyszerű dolgunk a grafikus ábrázolással, a program grafikai interfésze még fejlesztés alatt áll, így különböző magasságokban szelvényeket készítettünk és rögzítettük e vízszintes metszetekben a főfeszültségi értékeket, majd külön minden metszetre alkalmaztuk a Willam-Warneke alkotta triaxiális törési kritériumot [4].

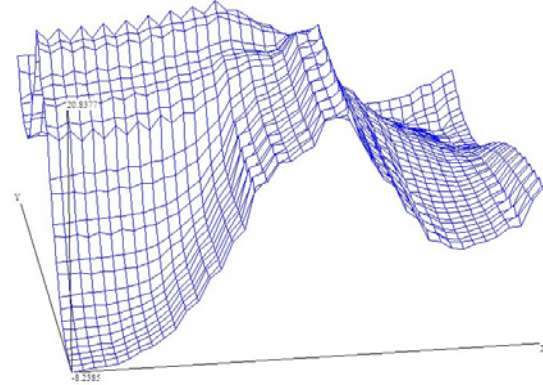
Ezek a metszeti feszültségi ábrák láthatók azok magassága szerint sorrendbe állítva a 9. ábrán. A próbatest felső 10 cm-ét fogja át az ábrásor. Az ábra függőleges

tengelyén (mely a keresztmetszet középpontján halad át) a vízszintes tengelyek segítségével meghatározható keresztmetszeti pontokhoz tartozó William-Warnke-féle triaxiális törési kritérium értékei találhatóak. A kiszemelt zónának az alsó határán már érezhető hatása van pecsétel történő terhelésnek, amely felfelé haladva jelentősen erősödik.

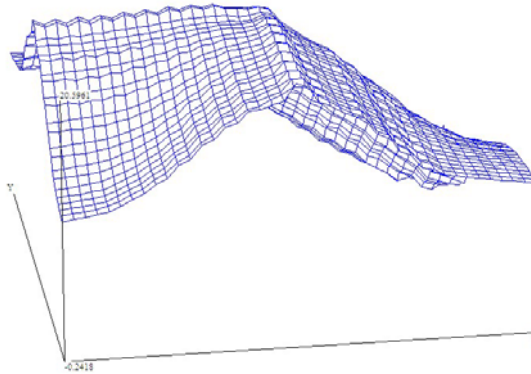
Metszet: 600 mm-nél



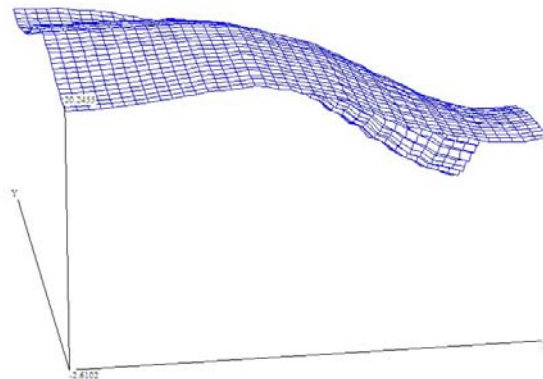
Metszet: 576 mm-nél



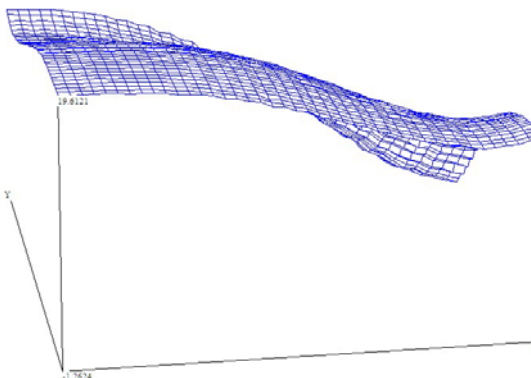
Metszet: 557 mm-nél



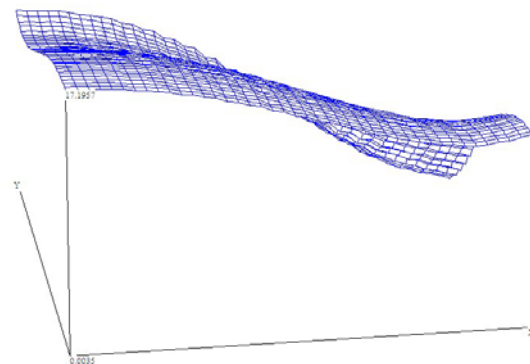
Metszet: 538 mm-nél



Metszet: 519 mm-nél



Metszet: 500 mm-nél



9. ábra. A CESAR eredményeire alkalmazott William-Warnke féle törési kritérium

Az ábrából jól látszik, hogy a legfelső metszetben már jelentős feszültségcsúcsok alakulnak ki a pecsét kerülete mentén, mely feszültségcsúcsok miatt

jön létre az a repedezettségi zóna, mely végül a pecsét alatti nyomott zóna merev test szerű benyomódásához vezet.

Ehhez azonban már a végelelemes programok magasabb szintű programozása szükséges.

3. ÖSSZEFOGLALÁS

A cikkben ismertetésre került numerikus vizsgálatok alapján a következő megállapítások tehetők:

- a.) Mindkét végelelemes program azonos eredményeket szolgáltatott a még repedést nem okozó teher tartományban:
 - CESAR: +17,5%,
 - ANSYS: +15,6%.
- b.) A pecsét alatti betonzóna merev testként történő benyomódásának figyelembevételéhez további vizsgálatok szükségesek.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Köszönet a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Építőmérnöki Karának Hidak és Szerkezetek Tanszékén működő MTA Mérnöki Kutatócsoportnak az ebben a cikkben ismertetésre került numerikus vizsgálatok elvégzésében nyújtotta segítségéért.

HIVATKOZÁSOK

- [1] Boulay, C. – Clément, J.L. - Toutlemonde, F. - Fakhri, P. – Verók, K.: *Étude du dimensionnement des éléments de structure en BTHP soumis à des forces de compression localisées*, BHP 2000, Projet National: Béton à Hautes Performances, LCPC, Paris, France, novembre 2000,
- [2] Règles BAEL 91 modifiées en 1999, *Règles techniques de conception et de calcul des ouvrages et constructions en béton armé suivant la méthode des états limites*, Eyrolles, Paris, 2000,
- [3] Verók K.: *„Pecsétnyomással terhelt prizmatikus betonoszlopok megerősítése szénszálas szövettel”*, BME Vasbetonszerkezetek Tanszéke Tudományos Közleményei, pp. 199-204, Budapest, 2002,
- [4] Willam, K. J. - Warnke, E. D.: *„Constitutive Model for the Triaxial Behavior of Concrete”*, Proceedings, International Association for Bridge and Structural Engineering, Vol. 19, ISMES, Bergamo, Italy, p. 174, 1975.