

# **Studiu comparat al parametrilor ce influențează analiza numerică a comportamentului la oboseală a unui braț de echipament tip stivuitor (forklift arm)**

Mocanu Ștefan,

Sef lucr. univ. dr.ing.,

Facultatea de Utilaj Tehnologic, U.T.C.B.

## **Abstract**

The present paper concern is to present a computational method and general approach to fatigue failure analysis with respect to forklift trucks main equipment – the forklift arm (fork) itself. Meshing parameters, detailed analysis algorithms and material choice are subject to rigorous and emphasized scrutiny. This step represents an intermediate stage of an iterational process concerning the entire working equipment – fixed mast, mobile (actuated) mast and forklift arms carriage.

## **1. INTRODUCERE**

În contextul social-istoric actual se poate remarca o tendință crescândă de utilizare a utilajelor tehnologice ce aparțin de așa-zisa piață „second-hand”, fenomenul implicând, din punctul de vedere strict tehnic al utilizatorului, o serie de dificultăți în ceea ce privește stabilirea stării tehnice reale la care a fost preluat spre utilizare produsul achiziționat.

Ca urmare a unor solicitări adresate departamentului facultății în cadrul căruia activează, autorul a primit spre studiu un utilaj de ridicat din familia moto-stivuitoarelor de mare capacitate (Caterpillar DP 70), pentru care este necesară stabilirea unei durate estimate de viață remanentă. În urma unei etape de studiu anterior încheiată, în cadrul căreia s-a constatat comportamentul la oboseală a echipamentului în ansamblu, studiul de față se concentrează asupra sub-ansamblului cu cele mai mari probleme din punctul de vedere al rezistenței la oboseală, brațul propriu-zis al furcii manipulator.

## **2. ALGORITM DE CALCUL**

Datorită gradului semnificativ de complexitate a problemei, simularea comportamentului la oboseală a fost realizată (ca și în cazul treptei anterioare de studiu), cu ajutorul suitei de aplicații SolidWorks, versiunea 2014 - varianta pentru sisteme cu arhitectura pe 64 biti, fiind parcurse și etape intermediare de verificare ce au avut drept suport metode clasice de calcul, precum și alte aplicații numerice (de ex. AxisVM 12-varianta light, etc.). Este de subliniat faptul că etapa de calcul la obo-

seală propriu-zisă nu a putut fi parcursă decât cu ajutorul suitei principale SolidWorks (de calcul cu metoda elementului finit-F.E.M.), această abordare fiind posibilă cu un număr încă relativ restrâns de aplicații. Modelarea în sine a fost realizată la scara reală, după desenul de subansamblu primit (Fig.1), structura (Fig.2) având schema de discretizare în funcție de varianta de lucru aleasă (Fig.3).

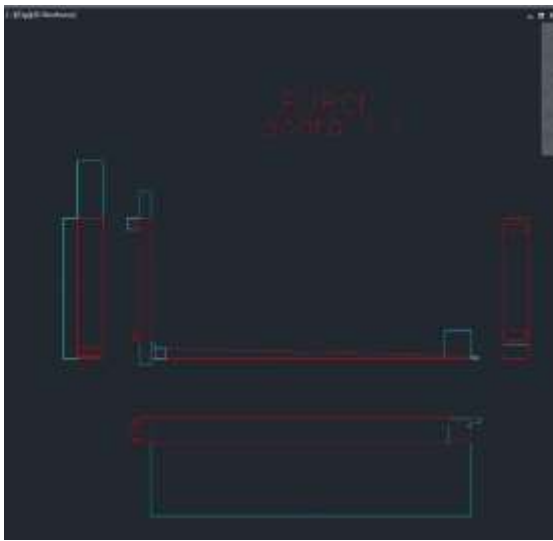


Fig. 1

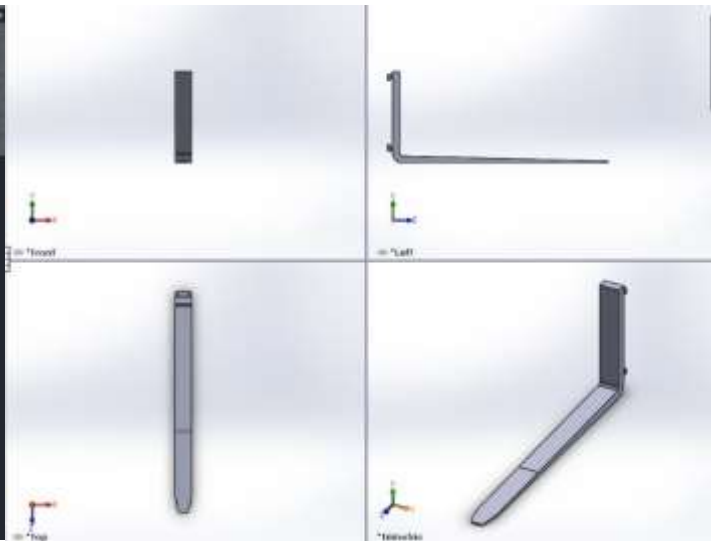


Fig. 2



a.

b.

c.

Fig. 3

În baza variantei de discretizare aleasă (solid meshing), se parcurge un prim studiu static (SolidWorks Simulation/Static) conform schemei de calcul impuse de datele inițiale ale problemei, schema de rezemare conform desenului de ansamblu al suportului de furci (Fig.4), respectiv schema de încărcare conform specificațiilor produsului original (Fig.5). La acest moment, se impune o precizare privind schema de încărcare, fiind parcurse și etape de studiu cu sarcina utilă uniform distribuită pe întreaga lungime a brațului, singurele deosebiri fiind de activare a modului de lucru „Large displacement”, (deformații excesive), situație ce a impus luarea în considerare a modificărilor în termeni de rigiditate a structurii.

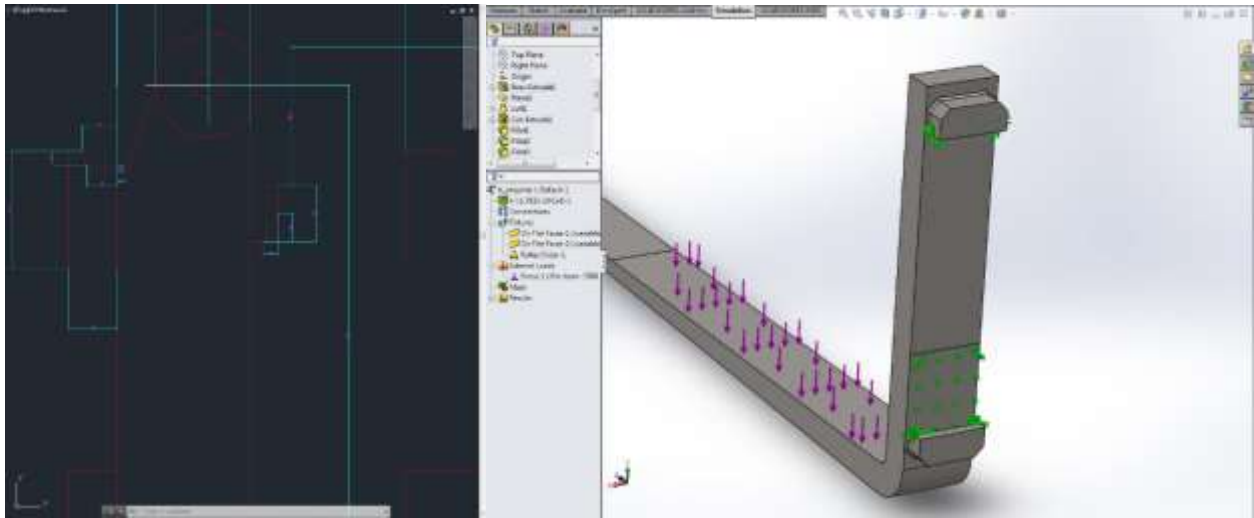


Fig. 4

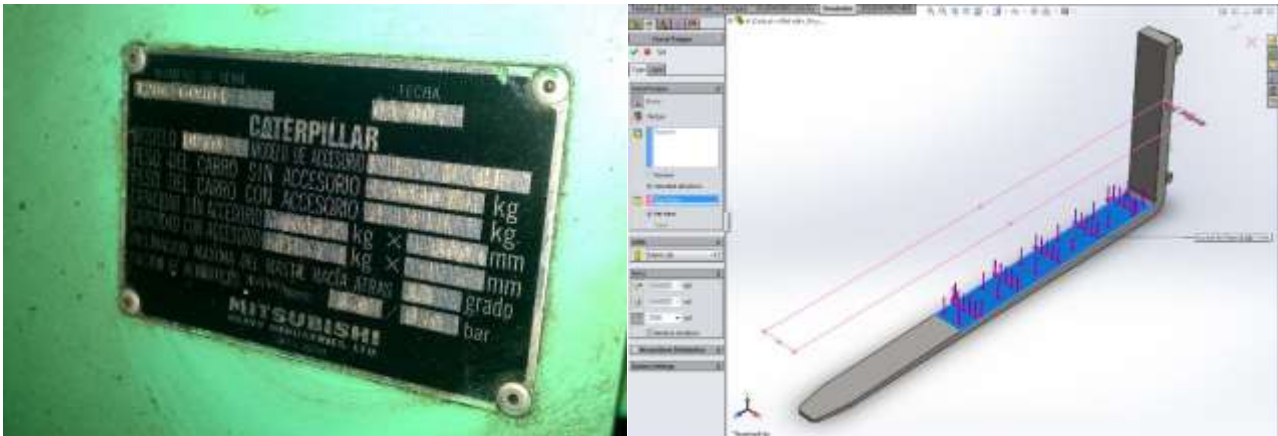


Fig. 5

Mărimile de ieșire ale studiului static constau în stabilirea distribuției de eforturi unitare echivalente (stare de tensiune) conform criteriului von Mises (Hencki)-teoria de rezistență V sau IVa, factorul preponderent în atingerea stării limită fiind energia specifică de deviație [1,2], starea de deformație a structurii ( $u_{res}$ -deformație rezultantă a elementelor de discretizare) (Fig.6) și , de un deosebit interes pentru studiul în desfășurare, pre-verificarea la oboseală (Fatigue check plot), criteriu de parcurgere ulterioară a unui studiu amănunțit la oboseală (Fig.7).

Studiul final la oboseală (Solidworks Simulation/Fatigue) are drept precondiție obligatorie existența unui studiu static inițial, ca mărime de intrare, precum și parametrii caracteristici cunoscuți: coeficientul de asimetrie al ciclului de solicitare, curba lui Wohler asociată materialului utilizat, numărul de cicluri [1,2]; mărimile de ieșire ale studiului sunt procentajul estimat de pierdere a capacității de lucru pentru numărul de cicluri anterior precizat (Damage), precum și durata totală de viață estimată (Life), cu precizarea zonelor de interes din punctul de vedere al apariției amorsoarelor de inițiere-propagare a fisurilor ce duc la cedarea structurii prin rupere prin oboseală (Fig.8).

Principala problemă ce apare la utilizarea unor astfel de metode de calcul constă în asigurarea convergenței soluțiilor obținute, fiind de notorietate existența unei anume împrăștieri a rezultatelor funcție de mulțimea de parametri variabili utilizați pentru stabilirea condițiilor efective de analiză (gradul de fidelitate al modelării solidului, tipul și forma elementului de discretizare, modul de „rafinare” a rețelei de discretizare, curba lui Wohler utilizată asociată materialului, etc.).

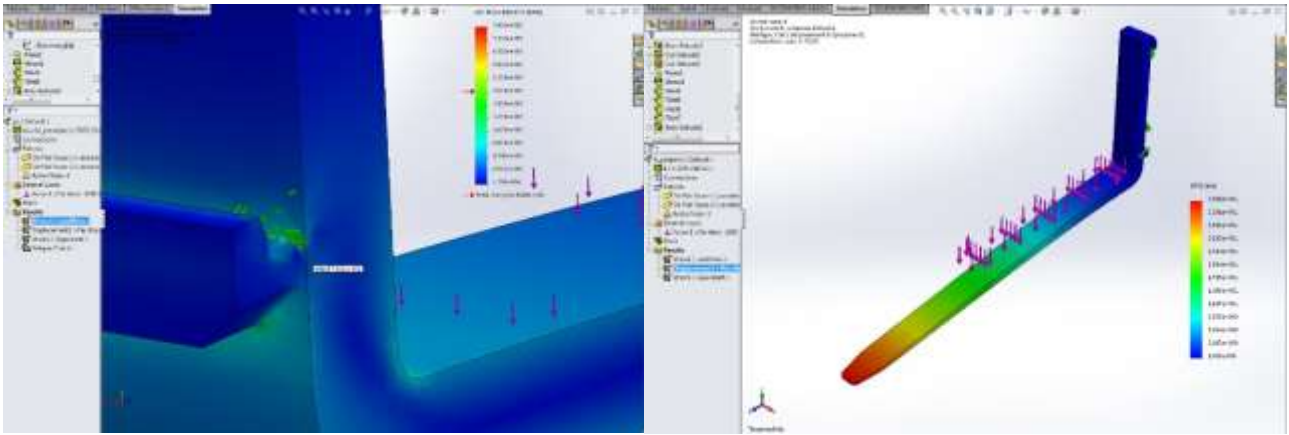


Fig. 6

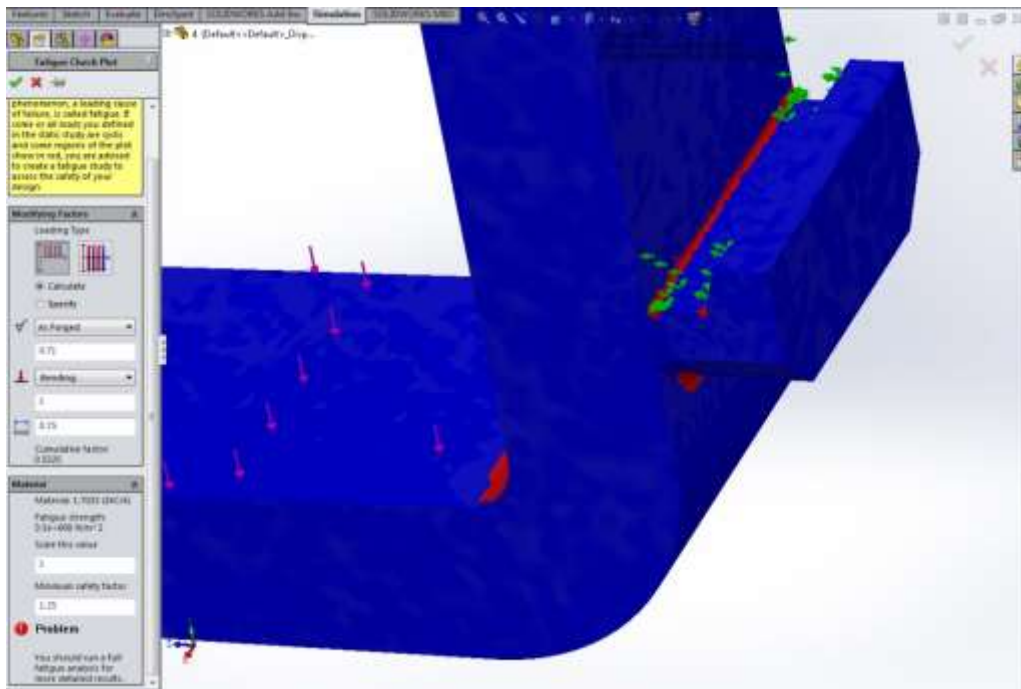


Fig. 7

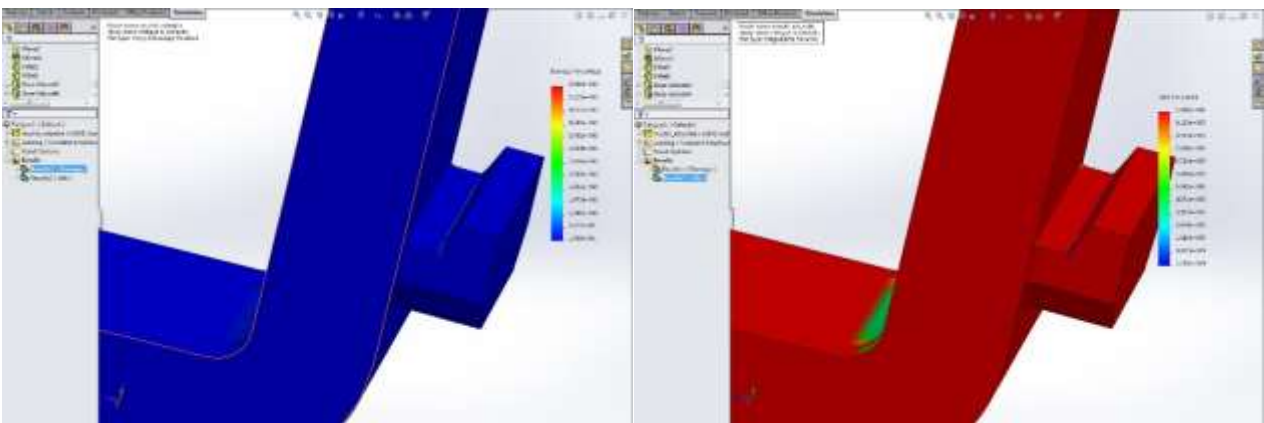


Fig. 8

### 3. Analiza variantelor de lucru

#### 3.1 Schema de discretizare (meshing)

tabel 1.

tip element	metoda	dimensiune element	toleranță	număr elemente	aspect ratio $\leq 3$	von Mises	life
standard	-	13,62 mm	0,68 mm	56638	99,4%	780MPa	1e8 cicli
standard	h-adap.	13,62 mm	0,68 mm	365072	99,4%	3e3MPa*	1e4 cicli
standard	p-adap.	13,62 mm	0,68 mm	56638	99,4%	2e3MPa*	1e4 cicli
curbiliniu	-	27,93 mm	-	28992	94,5%	1,2e3MPa*	1e4 cicli
curbiliniu	h-adap.	27,93 mm	-	108187	94,5%	1,9e3MPa*	1e4 cicli

O primă distincție în abordare se poate face prin utilizarea elementului de discretizare cu laturi rectilinii (standard) vis-a-vis de elementul curbiliniu (curvature based mesh), cu implicații limitate de altfel, în modelarea zonelor cu raze de racord; de mare utilitate poate fi în acest caz criteriul de performanță „aspect ratio”, raportul dintre cea mai mare, respectiv cea mai mică latură a elementului de discretizare, fiind de dorit o valoare cât mai apropiată de unitate (un element cât mai puțin deformat).

Optimizarea rețelei de discretizare (Fig.3a, b, c) reprezintă una din cele mai importante etape în utilizarea SolidWorks Simulation, operațiune ce se poate solda cu obținerea de rezultate exacte fără un consum excesiv al resurselor de lucru.

Aplicația numerică utilizată are două metode principale de optimizare a rezultatelor, anume prin modificarea schemei de discretizare. Principiul metodei h de optimizare (h-adaptive), este de a utiliza elemente de dimensiune redusă în zonele cu erori; după o primă parcurgere a studiului cu estimarea zonelor cu grad ridicat de eroare, programul modifică în mod automat parametrii de discretizare, efectul fiind de creștere a preciziei rezultatelor obținute. Prin comparație, principiul metodei p de optimizare (p-adaptive) este de tratare particulară a elementelor din zonele considerate critice; după o primă estimare a zonelor cu erori, programul modifică rangul polinoamelor ce descriu starea (matricea) de deformare, schema de discretizare (numărul elementelor) rămânând neschimbată.

Valorile excesive ale mărimii tensiunii normale echivalente (\*) [4], se datorează fenomenului de concentrare a tensiunilor din zonele cu unghiuri sau raze de racord (stress singularities), tensiunile din aceste zone crescând odată cu micșorarea dimensiunii locale a elementului-problema poate fi controlată prin activarea opțiunii „Global” în „Accuracy bias” din cadrul parametrilor inițiali ai metodei de lucru „h-adaptive”.

#### 3.2 Parametrii generali ai studiului la oboseală – alegerea materialului

tabel 2.

criteriul de calcul	corectia (diag. oboseală)	fatigue strength reduction fact. Kf	S-N curve interpolation	material S-N	life
von Mises	Soderberg	0,8	log-log	2340 fără concentrator	5e4 cicli
von Mises	Soderberg	0,8	log-log	2340 cu concentrator	1e4 cicli
von Mises	Soderberg	0,8	log-log	structural steel rolled	3e4 cicli
von Mises	Soderberg	0,8	log-log	carbon steel	1,7e5 cicli

Parametrii studiului la oboseală (studiul final în detaliu, nu etapa intermediară „fatigue check plot”) fac referire la modul de interacțiune dintre evenimentele (tipurile de solicitare) la oboseală, în cazul în care sunt definite mai multe astfel de evenimente, la modul de calcul al rezistenței la oboseală

ca funcție de teoria de rezistență utilizată (se stabilește tipul solicitării pentru calculul rezistenței la oboseală echivalente utilizată la estimarea numărului de cicluri conform curbei lui Wohler (S-N) asociate), tipul schematizării diagramei rezistenței la oboseală pentru corecție (Goodman-materiale fragile, Gerber-materiale tenace, Soderberg-varianta cea mai restrictivă), precum și factorul de reducere a rezistenței la oboseală  $K_f$ , pentru luarea în considerare a diferențelor între condițiile existente la ridicarea curbei Wohler și cele „reale”, la care se rulează simularea.

De mare importanță este alegerea curbei lui Wohler asociată materialului utilizat, mărimile de ieșire ale studiului fiind în mod direct și dramatic influențate de aceasta; în acest context se poate semnală prezența unui aparat matematic pentru crearea de curbe ale rezistenței la oboseală particularizate, aplicația dispunând de o bibliotecă relativ extinsă în domeniu.

#### 4. Concluzii

În urma simulărilor efectuate se constată confirmarea suspiciunii de cedare prin oboseală semnalată la nivelul preverificării din cadrul studiului static (fatigue check plot), rezultatele fiind convergente pentru mai multe ipoteze de calcul din cele prezentate (sau combinații ale acestora).

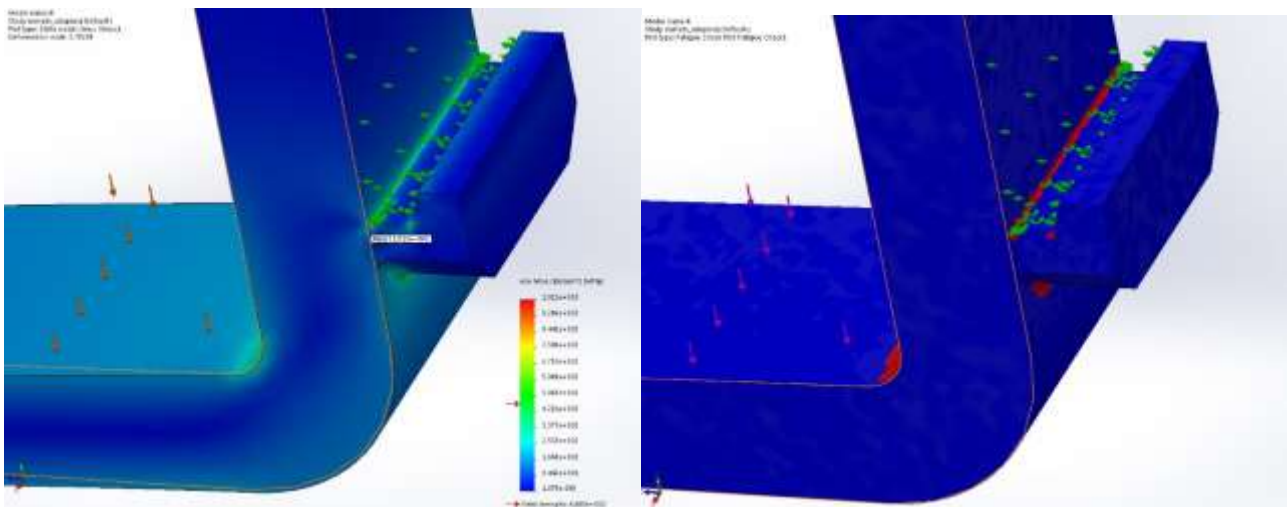


Fig. 9

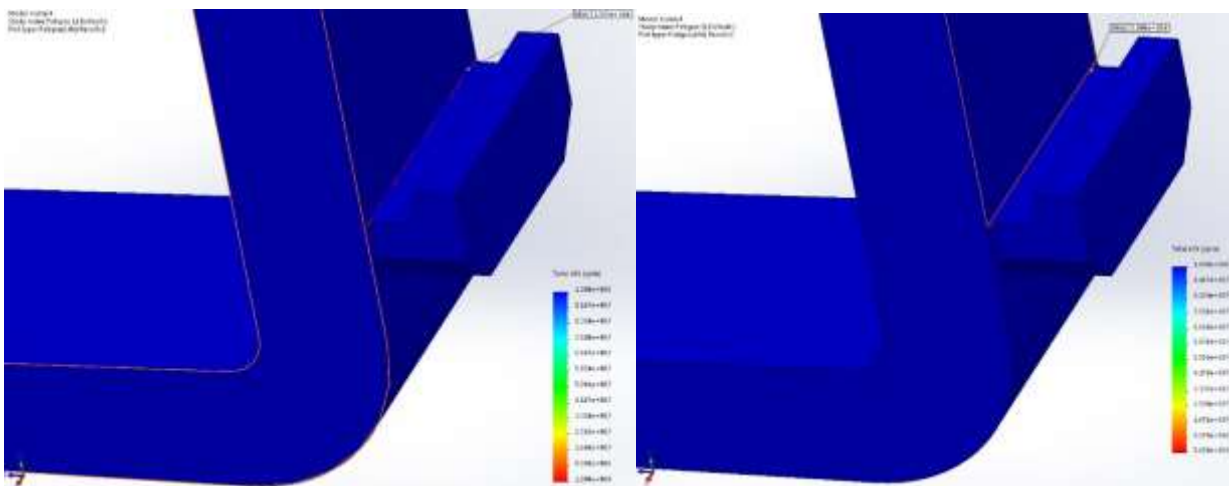
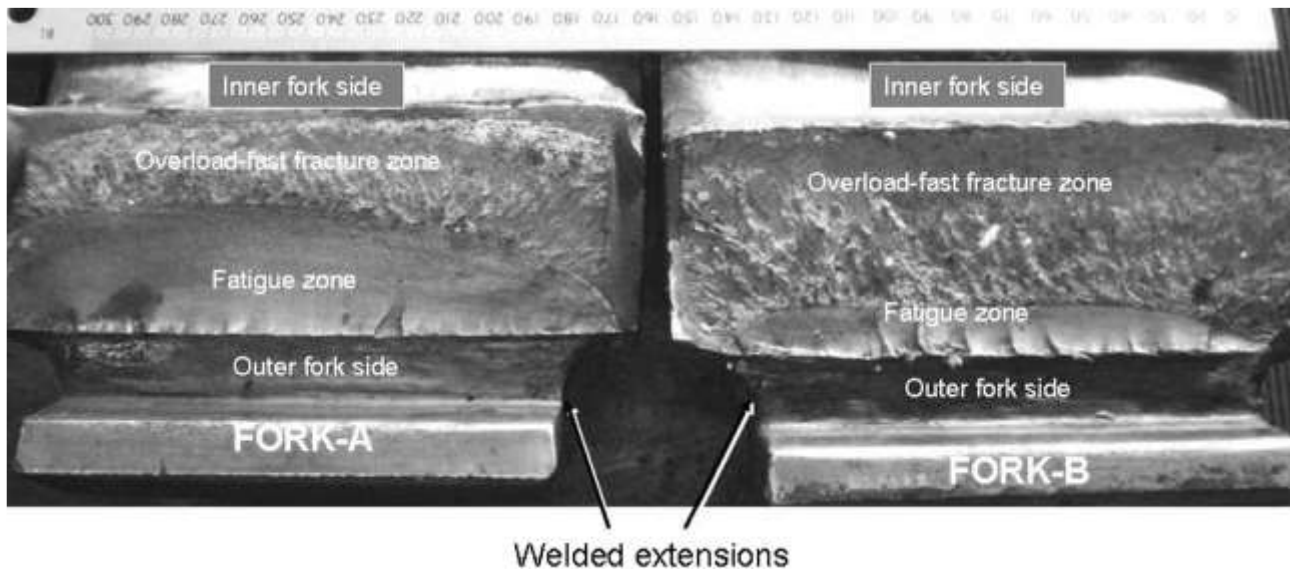


Fig. 10

Astfel, în funcție de parametrii aleși, zona critică de cedare prin oboseală se constată nu doar la nivelul razei de racord a brațului cu tronsonul de rezemare, ci și la nivelul elementelor prismatice de rezemare-legătură cu suportul furcilor (Fig.9, 10). Este de remarcă mai slabă prezența statistică a evenimentelor de tipul cedare la raza de racord (furcile având mecanismul general de cedare prin

deformare plastică), literatura de specialitate oferind însă exemple de rupere așa-zis atipică chiar în zonele indicate de analiza numerică efectuată-Fig.11[3].



sursa: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2213290213000527>.

**Fig. 11**

În ceea ce privește aspectul cantitativ al problemei, cu referire directă la probabilitatea de estimare a duratei de viață remanente a structurii, considerăm a fi de extremă importanță asocierea corectă a tipului de material utilizat cu curba lui Wohler corespunzătoare; astfel, în locul tratării prin coeficienți de corecție sau alte artificii matematice posibile ar fi de dorit ridicarea unor familii de curbe pentru materialele reale utilizate (chiar în stare uzată – brațe casate sau înlocuite) în condiții de laborator și introducerea directă a datelor obținute în librăria de diagrame de rezistență la oboseală (prin intermediul facilităților puse la dispoziție de SolidWorks CosmosWorks curves-cwcur.dll), eventualele corecții ulterioare beneficiind de o bază de raționament solidă.

## **Bibliografie**

- [1] Ungureanu I., Ispas B., Constantinescu E., "Rezistența Materialelor", Institutul de Construcții București, 1981.
- [2] Andreescu I., Mocanu St., "Compendiu de Rezistența Materialelor", Matrix Rom, București, 2005.
- [3] Pantazopoulos G., Vazdirvanidis A., Rikos A., Toulfatzis A., Analysis of abnormal fatigue failure of forklift forks, Case Studies in Engineering Failure Analysis 2 (2014) 9-14.
- [4] Stahlschlüssel, Verlag Stahlschlüssel Wegst, GmbH, D-71672 Marbach, 2004.