



UNIVERSITATEA „EFTIMIE MURGU” DIN REȘIȚA

Facultatea de Inginerie și Management

Departamentul de Inginerie Mecanică și Management

Nr. Decizie Senat 205 din **26.06.2019**

TEZĂ DE DOCTORAT

Aplicarea ingineriei inverse la reconstituirea geometriei componentelor profilate ale turbinelor hidraulice

Applying Reverse Engineering to the Geometric Reconstruction of the Profile belonging to Hydraulic Turbines Components

Autor:

Ing. Sorin-Laurențiu BOGDAN

Coordonator științific:

Prof. univ. dr. ing. Dorian NEDELCU

COMISIA DE DOCTORAT

Președinte	Conf. univ. dr. ing. Cristian Paul CHIONCEL	de la	Universitatea „Eftimie Murgu” din Reșița
Conducător de doctorat	Prof. univ. dr. ing. Dorian NEDELCU	de la	Universitatea „Eftimie Murgu” din Reșița
Referent	Prof. univ. dr. ing. Ilare BORDEAȘU	de la	Universitatea „Politehnica” din Timișoara
Referent	Prof. univ. dr. ing. Dumitru ȚUCU	de la	Universitatea „Politehnica” din Timișoara
Referent	Prof. univ. dr. ing. Viorel Constantin CÂMPIAN	de la	Universitatea „Eftimie Murgu” din Reșița
Referent	Prof. univ. dr. ing. Gilbert-Rainer GILLICH	de la	Universitatea „Eftimie Murgu” din Reșița

Reșița 2019

PREFATĂ

Prezenta teză de doctorat intitulată “*Aplicarea ingineriei inverse la reconstituirea geometriei componentelor profilate ale turbinelor hidraulice*” constituie o sinteză a activității de cercetare teoretică și experimentală realizată de către autor, referitor la aplicarea ingineriei inverse în domeniul mecanicii, utilizând tehnologiile de scanare 3D respectiv fotogrametrie. Teza are ca scop reconstituirea geometriei componentelor profilate ale turbinelor hidraulice, prin intermediul tehnologiei moderne de inginerie inversă.

Teza debutează cu prezenta **Prefață**, cu un **Cuprins**, urmat de **Listă figuri**, **Listă tabele**, **Listă abrevieri** și **Listă notații**.

Capitolul 1 sintetizează stadiul actual al cercetărilor în domeniu, descriind tehnologia ingineriei inverse prin scanare 3D și fotogrametrie, tipuri de scanere și aplicații specifice acesteia.

Capitolul 2 prezintă obiectivele tezei de doctorat.

Capitolul 3 descrie metodologia de reconstituire a geometriilor complexe, metodă originală dezvoltată în cadrul tezei de doctorat.

Capitolul 4 prezintă reconstituirea geometriei unei palete industriale de tip Kaplan, cu diametrul $D_1 = 5400$ mm: *scanare* prin fotogrametrie prin intermediul aplicației *Agisoft Photoscan* respectiv *reconstituire geometrie* prin intermediul aplicațiilor *Geomagic Design X* și *SolidWorks*; compararea geometriei paletei de referință din desenul de execuție cu paleta obținută prin fotogrametrie s-a realizat în aplicația *GOM-Inspect* în concordanță cu condițiile impuse de codul CEI [17].

Capitolul 5 prezintă reconstituirea geometriei unui rotor Francis industrial cu diametrul 1160 mm și 19 palete, prin intermediul fotogrametriei respectiv pe baza aplicațiilor: *Agisoft Photoscan*, *Geomagic Design X* și *SolidWorks*.

Capitolul 6 prezintă reconstituirea geometriei prin fotogrametrie a unei palete model axiale respectiv a unei cupe model Pelton, finalizate cu desen de execuție necesară fabricației acestor modele de paletă. S-a efectuat de asemenea comparația geometriei scanate cu geometria modelată în aplicația *SolidWorks*. Același model tridimensional realizat în *SolidWorks* s-a comparat cu geometria reală a paletei axiale / cupei Pelton, obținută pe baza măsurătorilor metrologice efectuate pe mașina cu comanda numerică în 5 axe DMF 180 DECKEL MAHO.

Capitolul 7 prezintă contribuții personale, direcții viitoare de cercetare și diseminarea rezultatelor.

Teza se încheie cu **Bibliografie**.

Teza se întinde pe 199 pagini și conține: 205 figuri (grafice și poze), 59 tabele, 33 relații și 92 referințe bibliografice, dintre care 7 anterioare anului 2000, 8 între anii 2000-2005, 18 între anii 2006-2010, 24+16 (surse internet) între anii 2011-2016 și 19 după anul 2017.

Doresc să-mi exprim pe această cale, profunda mea recunoștință conducătorului științific domnului prof. dr. ing. Dorian Nedelcu pentru orientarea și îndrumarea în munca de cercetare și pentru analiza cu înalt profesionalism a conținutului lucrării pentru abordarea unui nivel științific ridicat. Sper și doresc ca pe viitor să continui și să realizez aplicații în cadrul acestui domeniu de cercetare.

Un cuvânt de mulțumire, doresc să-l acord comisiei de îndrumare, din care fac parte membrii: prof. univ. dr. ing. Constantin Viorel Câmpian, prof. univ. dr. ing. Gilbert-Rainer Gillich, conf. univ. dr. ing. Călin Octavian Micloșină, care au participat, în calitate de membri ai comisiei de îndrumare la susținerea referatelor. Contribuția acestora, prin diverse observații, sugestii cu privire la realizarea tezei au avut ca scop îmbunătățirea conținutului acesteia.

De asemenea, ţin să mulțumesc societății Reșița Reductoare & Regenerabile S.A., personal directorului tehnic și comercial dr. ing. Aurel BĂRA, care a făcut posibile măsurători metrologice ale paletei model axială respectiv ale cupei model Pelton pe mașina cu comanda numerică în 5 axe DMF 180 DECKEL MAHO.

Mulțumesc domnilor prof. dr. ing. Ilare BORDEAȘU și prof. univ. dr. ing. Dumitru ȚUCU din cadrul Universității “Politehnica” din Timișoara, prof. univ. dr. ing. Viorel Constantin CÂMPIAN și prof. univ. dr. ing. Gilbert-Rainer GILLICH de la Universitatea „Eftimie Murgu” din Reșița care m-au onorat acceptând să facă parte din comisia de doctorat și au contribuit la îmbunătățirea tezei prin sugestii competente.

Mulțumesc firmei CAD Works Craiova care a făcut posibilă scanarea paletei model axiale și a cupei model Pelton utilizând scannerul *Creaform HandySCAN 700*.

Nu în ultimul rând doresc să mulțumesc, familiei mele pentru înțelegerea și sprijinul acordat pe întreg parcursul elaborării acestei teze de doctorat.

Reșița, iulie 2019
Drd. ing. Sorin-Laurențiu BOGDAN

CUPRINS

Prefață	2
Listă figuri	6
Listă tabele	11
Listă abrevieri	13
Listă notații	14
Cap. 1 STADIUL ACTUAL AL TEHNOLOGIEI INGINERIEI INVERSE	15
1.1 Ingineria inversă (Reverse Engineering)	15
1.2 Scanare 3D	15
1.2.1 Scanere cu contact	16
1.2.2 Scanere fără contact	18
1.2.3 Tipuri de scanere	19
1.2.3.1 Scannerul 3D Noomeo Optimum	19
1.2.3.2 Scannerul GO! SCAN 3D™	20
1.2.3.3 Scannerul HANDYSCAN 3D™	22
1.2.3.4 Scannerul METRASCAN 3D™	23
1.2.3.5 Scannerul ATOS Compact Scan	25
1.2.3.6 Scannerul ATOS Triple Scan	27
1.3 Aplicații software specifice	28
1.3.1 Aplicația Agisoft	28
1.3.2 Aplicația Geomagic Design X	29
1.3.3 Aplicația SolidWorks	30
1.3.4 Aplicația GOM Inspect	30
1.3.5 Aplicația NumiSoft	31
1.3.6 Aplicația Vxelements	31
1.4 Aplicații de scanare 3D și fotogrametrie	32
1.4.1 Biomecanică și ortopedie	33
1.4.2 Medicina crano-maxilo-facială	34
1.4.3 Patrimoniu cultural	35
1.4.4 Domeniul mecanic	37
1.5 Contribuții	44
Cap. 2 OBIECTIVELE TEZEI	45
Cap. 3 METODOLOGIA DE RECONSTITUIRE A GEOMETRIILOR COMPLEXE	46
3.1 Metodologia de reconstituire a geometriilor complexe	46
3.2 Principii ale fotogrametriei	49
3.3 Cerințe impuse etapei de fotografiere	51
3.4 Concluzii	52

Cap. 4 APLICAȚII DE RECONSTITUIRE A GEOMETRIEI PALETELOR KAPLAN INDUSTRIALE	53
4.1 Reconstituirea paletei	53
4.1.1 Introducere	53
4.1.2 Scanare prin fotogrametrie a paletei Kaplan	53
4.1.3 Reconstituirea geometriei paletei Kaplan	59
4.1.4 Comparația geometriei paletei de referință cu geometria paletei reconstituite	62
4.1.5 Calculul parametrilor geometrici ai profilelor	69
4.1.6 Netezirea frontierei profilelor	103
4.2 Concluzii	112
Cap. 5 APLICAȚII DE RECONSTITUIRE A GEOMETRIEI ROTORULUI FRANCIS ...	113
5.1 Reconstituirea rotorului Francis	113
5.2 Concluzii	120
Cap. 6 APLICATII DE RECONSTITUIRE A GEOMETRIEI UNEI PALETE MODEL AXIALE ȘI A UNEI CUPE MODEL PELTON	121
6.1 Reconstituirea geometriei unei palete model axiale	121
6.2 Generarea norului de puncte prin fotogrametrie	123
6.3 Generarea profilelor paletei în programul Geomagic Design X	125
6.4 Netezirea frontierei profilelor și generarea geometriei solide a paletei în SolidWorks	126
6.5 Comparația triangularizării norului de puncte cu paleta reconstituită	149
6.6 Comparație măsurători ale paletei model axiale cu cea reconstituită în SolidWorks	150
6.7 Reconstituirea geometriei unei cupe model Pelton	160
6.8 Reconstituirea cupei Pelton prin fotogrametrie	161
6.9 Reconstituirea geometriei solide a cupei Pelton	164
6.10 Comparația triangularizării norului de puncte cu cupa reconstituită	168
6.11 Comparație măsurători ale cupei model Pelton cu cupa reconstituită în SolidWorks	169
6.12 Scanarea laser a paletei axiale și comparația cu paleta scanată prin fotogrametrie	171
6.13 Scanarea laser a cupei Pelton și comparația cu cupa scanată prin fotogrametrie	178
6.14 Concluzii	186
Cap. 7 CONTRIBUȚII PERSONALE. DIRECȚII VIITOARE DE CERCETARE. DISEMINAREA REZULTATELOR	187
7.1 Contribuții personale	187
7.2 Direcții viitoare de cercetare	189
7.3 Diseminarea rezultatelor	189
BIBLIOGRAFIE	192

LISTĂ FIGURI

Figura	Denumire	Pag.
1.1	Scanarea 3D în perioada medievală, anul 1525	15
1.2	Tehnologia de digitizare 3D	16
1.3	Dispozitiv de scanare cu contact REVO în 5 axe	17
1.4	Pricipalele direcții întâlnite la palpare	17
1.5	Comparație între un scanner cu contact și unul fără contact	18
1.6	Fenomenul de umbră și de ocluziune	19
1.7	Spray developant pentru scanare 3D	19
1.8	Scannerul 3D Noomeo Optimum	20
1.9	Scannerul Go!SCAN 3D™	20
1.10	Scannerul HANDYSCAN 3D™	22
1.11	Scannerul HANDYPROBE NEXT™	22
1.12	Scannerul METRASCAN 3D™	23
1.13	Scannerul METRASCAN 3D R-SERIES™	23
1.14	Scannerul 3D ATOS Compact Scan	25
1.15	Scannerul 3D ATOS Triple Scan	27
1.16	Scannerul 3D ATOS Triple Scan manipulat de un robot industrial	27
1.17	Studiul științific al lui Leonardo da Vinci asupra brațului uman	33
1.18	Aplicarea ingineriei inverse pentru a reconstituui articulația șoldului	34
1.19	Pincipalele etape de aplicare a ingineriei inverse în intervențiile cranio-maxilo-faciale	34
1.20	Etapa de scanare, editare și reproducere a creierului uman prin aplicarea tehnologiei de inginerie inversă	35
1.21	Scannerul Cyberware fixat în picioare alături de statuia David a lui Michelangelo	36
1.22	Ciclul dezvoltării unui produs	37
1.23	Achiziție date prin scanare 3D	37
1.24	Prelucrare date scanate piesa tip 1 aşa cum a fost construită	37
1.25	Prelucrare date scanate piesa tip 2 aşa cum a fost construită	37
1.26	Reconstituirea fizică prin scanare 3D și prototipare pentru un celular și model artă	38
1.27	Mediul de lucru corpul VITUS / 3D Smart scanner	38
1.28	Etape principale de reconstituire după scanare 3D după reglare debit în CATIA V5	39
1.29	Reconstituire 4 obiecte ergonomicice	39
1.30	Procesul de digitizare, ulterior transmiterea informațiilor pe internet în timp real prin Web sistem	40
1.31	Arhitectura verificării dimensionale bazate pe Web sistem	40
1.32	Eșantion lamă turbineă pe aer selectată pentru aplicarea SCFA	40
1.33	Secțiune profil lamă de turbină pe aer	40
1.34	Patru secțiuni pentru comparare geometrie obținută prin RE cu eșantionul prin SCFA	40
1.35	Deviația dintre punctele digitizate și rezultatele SCFA ale secțiunii inferioare (în apropierea platformei cu lama)	41
1.36	Deviația dintre punctele digitizate și rezultatele SCFA din cea de-a doua secțiune (platforma de la lamă mai sus)	41
1.37	Deviația dintre punctele digitizate și rezultatele SCFA din cea de-a treia secțiune (platforma de blade de mai sus)	41
1.38	Deviația dintre punctele digitizate și rezultatele SCFA ale secțiunii celei mai înalte (în apropierea vârfului lamei)	41
1.39	Secțiuni referință	41
1.40	Axa secțiunilor	41
1.41	Suprafețe mecanice de contact ale lamei relizate prin RE	41
1.42	Măsurarea lamelor de turnate	42
1.43	Procesarea datelor măsurate de lame prin turnare	42
1.44	Reconstituire mâner ușă	42
1.45	Reconstituire paletă turbină	42
1.46	Reconstituire geometrie componente traseu hidraulic turbină tip Francis prin RE	43

Figura	Denumire	Pag.
1.47	Modelul 3D al motorului diesel	43
1.48	Comparare scanare 3D cu fotogrametrie	44
3.1	Etapele fotogrametriei	48
3.2	Posizionarea reflectoarelor pentru a crea lumina artificială	48
3.3	Scenariu de fotografiere incorrect/corect pentru fațadă	48
3.4	Scenariu de fotografiere incorrect/corect pentru interior	48
3.5	Scenariu de fotografiere incorrect/corect pentru obiect izolat	49
3.6	Asigurarea suprafeței mate prin pulverizare spray developant	49
3.7	Tipuri de rigle gradate și markeri	50
3.8	Plasarea și identificarea markerilor pe modelul real și cel virtual	50
3.9	Scalarea punctelor scanate	50
3.10	Principiul utilizat în fotogrametrie	51
4.1	Geometria paletei de referință	53
4.2	Succesiune de capturi imagine ale paletei	54
4.3	Inserarea imaginilor în programul Agisoft Photoscan	55
4.4	Estimare calitatea imaginilor în programul Agisoft Photoscan	55
4.5	Alinierea imaginilor în programul Agisoft Photoscan	56
4.6	Imagini aliniate în programul Agisoft Photoscan și generare nor rar de 3491 puncte	56
4.7	Corespondența puncte dintre imaginea „img_0008.tif” și „img_0013.tif”	57
4.8	Corespondența puncte dintre imaginea „img_0008.tif” și „img_0041.tif”	57
4.9	Generare nor dens de puncte în programul Agisoft Photoscan	58
4.10	Nor dens de 10965040 puncte în programul Agisoft Photoscan	58
4.11	Calibrarea norului de puncte în programul Agisoft Photoscan	59
4.12	Importarea norului de puncte în programul Geomagic Design X	60
4.13	Triangularizarea norului de puncte în programul Geomagic Design X	60
4.14	Generarea suprafețelor în programul Geomagic Design X	60
4.15	Generarea profilelor pe cilindrii în programul Geomagic Design X	61
4.16	Generarea geometriei solide a paletei în programul SolidWorks	61
4.17	Măsurarea unei palete conform codului CEI [3]	62
4.18	Modelul 3D al paletei referință importat în programul GOM Inspect	63
4.19	Modelul 3D al paletei reconstituite importat în programul GOM Inspect	63
4.20	Comparația în programul GOM Inspect a suprafețelor modelului 3D de referință cu cel reconstituit	63
4.21	Secțiunile de inspecție pe geometria paletei modelului 3D	64
4.22	Inspecție pe profile pentru secțiunea 1 a modelelor 3D	64
4.23	Inspecție pe profile pentru secțiunea 2 a modelelor 3D	65
4.24	Inspecție pe profile pentru secțiunea 3 a modelelor 3D	65
4.25	Inspecție pe profile pentru secțiunea 4 a modelelor 3D	66
4.26	Inspecție pe profile pentru secțiunea 5 a modelelor 3D	66
4.27	Inspecție pe profile pentru secțiunea 6 a modelelor 3D	67
4.28	Profil hidrodinamic	69
4.29	Funcția de schelet a profilului hidrodinamic	69
4.30	Funcția de grosime a profilului hidrodinamic	69
4.31	Profile de intersecție ale paletei reconstituite cu cilindrii	70
4.32	Puncte pe profilul secțiunii a patra	71
4.33	Proiecție profil în planul YZ	72
4.34	Profil desfășurat în sistemul de referință $Y_{desf} Z$	72
4.35	Profil în sistemul de referință propriu X_p, Y_p	73
4.36	Profile pentru secțiunea 1	91
4.37	Profile pentru secțiunea 2	91
4.38	Profile pentru secțiunea 3	91

Figura	Denumire	Pag.
4.39	Profile pentru secțiunea 4	91
4.40	Profile pentru secțiunea 5	91
4.41	Profile pentru secțiunea 6	91
4.42	Variată unghiului de instalare β_S funcție de secțiune	92
4.43	Variată corzii profilului funcție de secțiune	92
4.44	Variată ordonatelor profilului Y_{Pe}/Y_{Pi} în raport cu unghiul φ pentru cele 6 secțiuni de calcul	92
4.45	Profile interpolate spline pentru secțiunea 1	101
4.46	Profile interpolate spline pentru secțiunea 2	101
4.47	Profile interpolate spline pentru secțiunea 3	102
4.48	Profile interpolate spline pentru secțiunea 4	102
4.49	Profile interpolate spline pentru secțiunea 5	102
4.50	Profile interpolate spline pentru secțiunea 6	102
4.51	Variată grosimii relative maxime d/L pentru profile interpolate spline	103
4.52	Variată săgeții relative maxime f/L pentru profile interpolate spline	103
4.53	Profil secțiunea 6	104
4.54	Argumentul φ al reprezentării parmetrice	105
4.55	Profil secțiunea 6	106
4.56	Profil secțiunea 6	107
4.57	Comparație grosime relativă maximă d/L	110
4.58	Comparație săgeată relativă maximă f/L	110
4.59	Schemă logică a algoritmului de netezire a frontierei profilului	111
5.1	Geometria rotorului Francis de referință	113
5.2	Constatarea vizuală a uzurilor rotorului	114
5.3	Succesiune de capturi imagine ale rotorului Francis	115
5.4	Inserarea imaginilor în programul Agisoft Photoscan	116
5.5	Imagini aliniate în programul Agisoft Photoscan și generare nor rar de 5326 puncte	116
5.6	Generare nor dens de 12.891.212 puncte în programul Agisoft Photoscan	117
5.7	Calibrarea norului de puncte	117
5.8	Importarea norului de puncte în programul Geomagic Design X	118
5.9	Discul median, două alte discuri și o paletă în programul Geomagic Design X	118
5.10	Formatul modelului tridimensional solid în aplicația SolidWorks	119
5.11	Desenul de execuție al rotorului Francis	119
6.1	Geometria paletei model axiale	121
6.2	Succesiune de capturi imagine ale paletei axiale	122
6.3	Inserarea imaginilor în programul Agisoft Photoscan	123
6.4	Imagini aliniate în programul Agisoft Photoscan și generare nor rar de 169.445 puncte	123
6.5	Generare nor dens de 1.780.197 puncte în programul Agisoft Photoscan	124
6.6	Calibrarea norului de puncte în programul Agisoft Photoscan	124
6.7	Importarea norului de puncte în programul Geomagic Design X	125
6.8	Triangularizarea norului de puncte în programul Geomagic Design X	125
6.9	Generarea a 6 profile de intersecție și a cercurilor caracteristice fusului paletei în programul Geomagic Design X	126
6.10	Importul profilelor în SolidWorks și evidențierea erorilor la bordul de atac al profilelor	128
6.11	Puncte generate pe profilele celor 6 secțiuni	128
6.12	Profil adimensional în sistemul de referință propriu - secțiunea 1	144
6.13	Profil adimensional în sistemul de referință propriu - secțiunea 2	144
6.14	Profil adimensional în sistemul de referință propriu - secțiunea 3	144
6.15	Profil adimensional în sistemul de referință propriu - secțiunea 4	144
6.16	Profil adimensional în sistemul de referință propriu - secțiunea 5	144
6.17	Profil adimensional în sistemul de referință propriu - secțiunea 6	144
6.18	Variată ordonatelor profilului $Y_{E_{\text{spline}}}$ în raport cu unghiul φ pentru cele 6 secțiuni de calcul	145

Figura	Denumire	Pag.
6.19	Diferențe între profilele scanate și recalculate prin serie Fourier pentru 6 secțiuni de calcul	146
6.20	Transpunerea coordonatelor tridimensionale ale profilului din sistemul de referință propriu	147
6.21	Geometria paletei reconstituite	147
6.22	Desenul de execuție al paletei reconstituite	148
6.23	Comparația triangularizării norului de puncte cu paleta reconstituată	149
6.24	Mașina cu comandă numerică în 5 axe DMF 180 DECKEL MAHO	150
6.25	Măsurarea intradosului paletei	150
6.26	Măsurarea extradosului paletei	151
6.27	Puncte de măsură pe paleta model axială	152
6.28	Comparație puncte profile din SolidWorks cu cele măsurate pentru X=40 mm	154
6.29	Comparație puncte profile din SolidWorks cu cele măsurate pentru X=60 mm	154
6.30	Comparație puncte profile din SolidWorks cu cele măsurate pentru X=80 mm	154
6.31	Comparație puncte profile din SolidWorks cu cele măsurate rotite cu unghiul θ pentru X=40 mm	158
6.32	Comparație puncte profile din SolidWorks cu cele măsurate rotite cu unghiul θ pentru X=60 mm	158
6.33	Comparație puncte profile din SolidWorks cu cele măsurate rotite cu unghiul θ pentru X=80 mm	158
6.34	Comparație puncte profile din SolidWorks cu cele măsurate rotite unghiul θ și translatare pentru X=40 mm	159
6.35	Comparație puncte profile din SolidWorks cu cele măsurate rotite unghiul θ și translatare pentru X=60 mm	159
6.36	Comparație puncte profile din SolidWorks cu cele măsurate rotite unghiul θ și translatare pentru X=80 mm	159
6.37	Geometria paletei model Pelton	160
6.38	Succesiune de capturi imagine ale rotorului Francis	161
6.39	Inserarea imaginilor în programul Agisoft Photoscan	162
6.40	Imagini aliniate în programul Agisoft Photoscan și generare nor rar de 208.773 puncte	162
6.41	Generare nor dens de 1.170.227 puncte în programul Agisoft Photoscan	163
6.42	Calibrarea norului de puncte în programul Agisoft Photoscan	163
6.43	Norul de puncte al cupei Pelton în programul Geomagic Design X	164
6.44	Geometria solidă a cupei Pelton în SolidWorks	164
6.45	Desenul de execuție al cupei Pelton – Dimensiuni principale	165
6.46	Desenul de execuție al cupei Pelton – Secțiuni transversale	166
6.47	Desenul de execuție al cupei Pelton – Secțiuni longitudinale	167
6.48	Comparația triangularizării norului de puncte cu cupa reconstituată	168
6.49	Puncte de măsură a cupei Pelton	169
6.50	Fixarea cupei Pelton în menșina mașinii CNC	169
6.51	Panou de afișare ptr. punct de măsură 5	170
6.52	Panou de afișare ptr. punct de măsură 11	170
6.53	Panou de afișare ptr. punct de măsură 16	171
6.54	Panou de afișare ptr. punct de măsură 20	171
6.55	Scanare laser a extradosului paletei axiale cu scannerul Creaform HandySCAN 700	171
6.56	Scanare laser a intradosului paletei axiale cu scannerul Creaform HandySCAN 700	172
6.57	Aliniere extrados și intrados în aplicația VXelements	172
6.58	Paleta axială reconstituată în aplicația VXelements	172
6.59	Aliniere palate axiale în aplicația GOM Inspect	173
6.60	Comparație pe extradosul paletelor axiale în aplicația GOM Inspect	173
6.61	Comparație pe intradosul paletelor axiale în aplicația GOM Inspect	174
6.62	Comparație profile la planul Z=20 mm	174
6.63	Comparație profile la planul Z=30 mm	175
6.64	Comparație profile la planul Z=40 mm	175
6.65	Comparație profile la planul Z=50 mm	176
6.66	Scanare laser a părții superioare a cupei Pelton cu scannerul Creaform HandySCAN 700	179
6.67	Scanare laser a a părții inferioare a cupei Pelton cu scannerul Creaform HandySCAN 700	179

Figura	Denumire	Pag.
6.68	Aliniere parte superioară și inferioară în aplicația VXelements	179
6.69	Cupa Pelton reconstituită în aplicația VXelements	179
6.70	Aliniere palate axiale în aplicația GOM Inspect	180
6.71	Comparație pe partea superioară a cupei Pelton în aplicația GOM Inspect	180
6.72	Comparație pe partea inferioară a cupei Pelton în aplicația GOM Inspect	181
6.73	Secțiune prin cupa Pelton cu planul Y = -10 mm	181
6.74	Secțiune prin cupa Pelton cu planul Y = 0 mm	182
6.75	Secțiune prin cupa Pelton cu planul Y = +10 mm	182
6.76	Secțiune prin cupa Pelton cu planul Y = +20 mm	183
6.77	Secțiuni longitudinale prin cupa Pelton cu planele X=0, 10, 20 ,30 mm	183

LISTĂ TABELE

Tabel	Denumire	Pag.
1.1	Componente scanner cu contact REVO în 5 axe	17
1.2	Caracteristicile tehnice ale scannerului 3D Noomeo Optinum	19
1.3	Specificații tehnice și comparare performanțe GO!SCAN 20™ și GO!SCAN 50™	21
1.4	Specificații tehnice și comparare performanțe HANDYSCAN 300™ și HANDYSCAN 700™	22
1.5	Specificații tehnice și compararea performanțelor scannerelor din gama METRASCAN™	24
1.6	Tehnologia aplicată și dezvoltată de GOM pentru scannerul ATOS Compact Scan	25
1.7	Date tehnice și comparare performanțe ATOS Compact Scan 2M și ATOS 5m Compact Scan	26
1.8	Date tehnice, descriere și compararea performanțelor ATOS II Triple Scan și ATOS III TripleScan	27
1.9	Cerințe hardware calculator program Agisoft	28
1.10	Cerințe sistem pentru software-ul Geomagic Design X	29
1.11	Cerințe hardware și software PC pentru aplicația SolidWorks	30
1.12	Cerințe minime hardware PC aplicație GOM-Inspect	30
1.13	Cerințe minime hardware PC aplicație NumiSoft	31
1.14	Comparare caracteristici variante aplicații Creaform	31
1.15	Cerințe minime de sisteme pentru aplicațiile Creaform	32
1.16	Diverse domenii de aplicare a ingineriei inverse	32
1.17	Principalele obiective ale ingineriei inverse pentru patrimoniul cultural	35
1.18	Statistică rezultate în urma scanării statuii David a lui Michelangelo	36
1.19	Comparații de erori ale modelului de telefon mobil și ale unui model de artă	38
1.20	Specificații tehnice scanner corporal 3D	38
1.21	Date numerice pentru 4 obiecte ergonomice	39
1.22	Mediul sistemului de server	40
1.23	Specificații digitalizare	41
3.1	Metodologia de reconstituire a geometriilor complexe	46
4.1	Tabel de inspecție punctuală pe secțiuni – paleta industrială	68
4.2	Coordonate profil secțiunea 1	75
4.3	Coordonate profil secțiunea 2	77
4.4	Coordonate profil secțiunea 3	80
4.5	Coordonate profil secțiunea 4	82
4.6	Coordonate profil secțiunea 5	85
4.7	Coordonate profil secțiunea 6	88
4.8	Comparație unghi de instalare și coarda profile	90
4.9	Valori profile calculate prin interpolare spline pentru secțiunea 1	94
4.10	Valori profile calculate prin interpolare spline pentru secțiunea 2	95
4.11	Valori profile calculate prin interpolare spline pentru secțiunea 3	96
4.12	Valori profile calculate prin interpolare spline pentru secțiunea 4	97
4.13	Valori profile calculate prin interpolare spline pentru secțiunea 5	98
4.14	Valori profile calculate prin interpolare spline pentru secțiunea 6	100
4.15	Parametrii geometrici profile interpolate spline	103
4.16	Ordonate echidistante și coeficienți Fourier pentru secțiunea 6	107
4.17	Coordonate profil netezit calculat prin coeficienți Fourier pentru secțiunea 6	108
4.18	Parametrii geometrici profile netezite	109
6.1	Coordonate profil secțiunea 1	129
6.2	Coordonate profil secțiunea 2	131
6.3	Coordonate profil secțiunea 3	133
6.4	Coordonate profil secțiunea 4	136

Tabel	Denumire	Pag.
6.5	Coordonate profil secțiunea 5	138
6.6	Coordonate profil secțiunea 6	141
6.7	Coordonate echidistante ale profilelor	145
6.8	Coordonate echidistante ale profilelor	146
6.9	Coordonate ale profilelor din planele de intersecție A-A, B-B, C-C	151
6.10	Puncte măsurate pe paleta model axială	153
6.11	Abateri puncte pentru secțiunea A-A	156
6.12	Abateri puncte pentru secțiunea B-B	156
6.13	Abateri puncte pentru secțiunea C-C	157
6.14	Rezultate măsurători pe cupa model Pelton	170
6.15	Abateri între paleta axială scanată laser și prin fotogrametrie	176
6.16	Abateri între cupa Pelton scanată laser și prin fotogrametrie	184
7.1	Realizări și contribuții obținute în cadrul tezei, comparativ cu obiectivele propuse a se realiza	187

LISTĂ ABREVIERI

Abrevierea	Denumire asociată
Actual	Cota pe direcția Z a paletei reconstituite
2D	2 dimensiuni, model bidimensional
3D	3 dimensiuni, model tridimensional
CAM	Computer Aided Manufacturing (Fabricație integrată și automatizată de calculator)
CAD	Computer Aided Design (Proiectarea asistată de calculator)
CFD	Computational Fluid Dynamics (program de simulare a dinamicii computerizată a fluidelor)
CEI IEC	International Standard, Hydraulic turbines, storage pumps and pump-turbines – Model acceptance tests (Standard internațional-Turbine hidraulice, pompe de stocare și turbine cu pompă - Teste de acceptare a modelului)
Check	Marker grafic de verificare încadare sau neîncadrare în domeniul toleranței
CNC	Computerized Numerical Control- Controlul numeric computerizat
CPU	Central Processing Unit-(Unitate centrală de procesare/Procesor)
dc	Dense cloud (nor de punct dens)
Dev	Abaterea profilului paletei reconstituite față de profilul paletei de referință
Element	Identifierul punctului pe profil
FEM	Finit element method (Metoda elementului finit)
GDX	Geomegic Design X (aplicație de editare și transformare nor de puncte în solid editabil)
GOM-I	GOM-Inspect (aplicație de inspecție 3D)
html	HyperText Markup Language (Limbaj de marcare hipertext)
ISO	International Organization for Standardization (Organizația Internațională pentru standardizare)
IIS	Internet Information Services (Sevicii de informare pe internet)
JPG/JPEG	Fișier grafic în formatul definit de Joint Photographic Experts Group (JPEG)
NC	Numerical control (Cod comanda numerică)
Nominal	Cota pe direcția Z a paletei de referință
OBJ	format de fișier pentru aplicații grafice 3D
OS	Operating system (Sistem de operare)
Out	Diferența cu care toleranța este depășită
Property	Direcția Z de măsurare a abaterii
RAM	Random Access Memory (Memorie cu acces aleator)
RE	Reverse Engineering (Inginerie inversă)
RP	Rapid Prototyping (Prototipare rapidă)
sc	Sparse cloud (nor de punct rar)
SCFA	Algoritm de segmentare și fixare prin constrângeri
STL	Surface Tessellation Language (limbaj care specifică ochiuri de triunghi pe suprafețe)
SW	SolidWorks (program de modelare de tip CAD)
Tol-	Abaterea minimă admisă a toleranței
Tol+	Abaterea maximă admisă a toleranței
.tif	Extensie format TIFF (Tagged Image File Format) fișier pentru salvarea imaginilor
VB	Vizual Basic

LISTĂ NOTAȚII

Notație	Denumire
<i>BA</i>	Bordul de atac
<i>BF</i>	Bordul de fugă
βS	Unghiul de instalare al profilului
<i>Dmax</i>	Diametrul maxim al rotorului modelului
<i>D1</i>	Diametrul rotorului modelului
<i>d/L</i>	Grosimea relativă
<i>Ex</i>	Extrados
<i>f/L</i>	Sägeata relativă
<i>L</i>	Coarda profilului desfășurat
<i>In</i>	Intrados
<i>L1</i>	Coarda profilului proiectat în planul YZ, care unește BA cu BF
<i>O</i>	Punct origine al paletei, plasat pe axa rotorului Z
<i>O1</i>	Punctul corespunzător axei de rotație X a paletei
θ	Unghiul de dispunere al punctului P pe profil, format între axa X și raza R
φ_e/φ_i	Argumentul reprezentării parametrice
<i>P</i>	Punct pe profilul spațial de coordonate (X, Y, Z), generat de intersecția cilindrului de rază R cu lama paletei
<i>P1</i>	Proiecția punctului P în planul YZ
<i>R</i>	Raza cilindrului de intersecție
<i>X</i>	Axa de rotație a paletei
<i>Xd</i>	Pozitia grosimii maxime
X_e/X_i	Abscise intermediare de calcul
X_f	Pozitia săgeții relative
χS	Unghiul profilului proiectat în planul YZ
<i>X, Y, Z</i>	Coordonate tridimensionale ale geometriei obiectului
X_{3D}, Y_{3D}, Z_{3D}	Coordonatele spațiale ale punctului de pe profil
<i>Ydesf</i>	Reprezentă coordonata curbilinie a punctului P
$Y_{desf}(BA)$	Abscisa bordului de atac
$Y_{desf}(BF)$	Abscisa bordului de fugă
<i>YE</i>	Extrados paletă
Y_e/Y_i	Ordonate intermediare de calcul
<i>YG</i>	Funcția de grosime
<i>YI</i>	Intrados
<i>YS</i>	Funcția de schelet
Y_{Pe}/Y_{Pi}	ordonate extrados respectiv intrados în sistemul de referință propriu al profilului
<i>Z</i>	Axa rotorului
<i>Z(BA)</i>	Ordonata bordului de atac
<i>Z(BF)</i>	Ordonata bordului de fugă

Cap. 1 STADIUL ACTUAL AL TEHNOLOGIEI INGINERIEI INVERSE

1.1 Ingineria inversă (Reverse engineering)

Ingineria Inversă (Reverse Engineering) este în prezent o tehnologie de mare actualitate. Conform [46], conceptul de inginerie se poate defini prin: “*Ingineria reprezintă atât procesul de proiectare, fabricare, asamblare, cât și întreținerea produselor și sistemelor. Procesul de duplicare a unei părți existente, subansamblu sau produs, fără desene, documentație sau a unui model pe calculator este cunoscut sub numele de Reverse Engineering. Reverse Engineering este, de asemenea, definită ca fiind procesul de obținere a unui model geometric CAD de la punctele 3D achiziționate prin scanarea/digitizarea piesei sau produselor deja existente*”.

De asemenea, “*ingineria inversă se poate defini ca un procedeu de obținere a geometriei unui obiect, în scopul de a crea reprezentarea acestuia în calculator*” [38].

Ingineria Inversă este un proces care se parcurge în următoarele trei etape: scanarea, prelucrarea punctelor și generarea suprafețelor sau solidelor modelului 3D [60].

Cercetări în domeniul ingineriei inverse s-au derulat continuu, după cum rezultă și din lucrările din literatura de specialitate [4], [8], [15], [27], [28], [37], [41], [53], [54], [57], [63], [66], [68], [71], [75] și [76].

1.2 Scanare 3D

Scanarea 3D a fost utilizată încă din perioada medievală; în anul 1525 germanul Albrecht Dürer, pasionat de tehnici de grafică, desene și gravuri a încercat să transpună diverse imagini prin procedeul de scanare adecvat perioadei respective, prezentat în figura 1.1 [38].

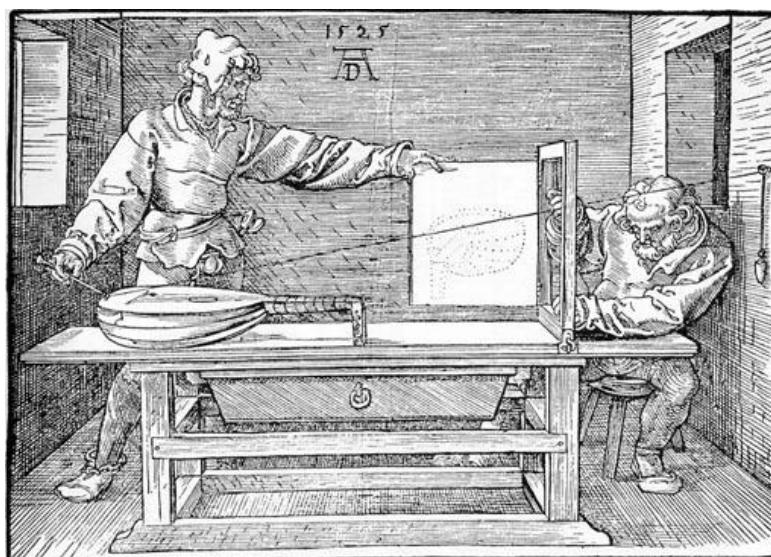


Fig. 1.1 Scanarea 3D în perioada medievală, anul 1525

Scanerele se pot clasifica în două tipuri: *cu contact* și *fără contact*. În figura 1.2 [69] este reprezentată tehnica de digitizare utilizată în prezent de scanerele tridimensionale, care constituie baza ingineriei inverse.

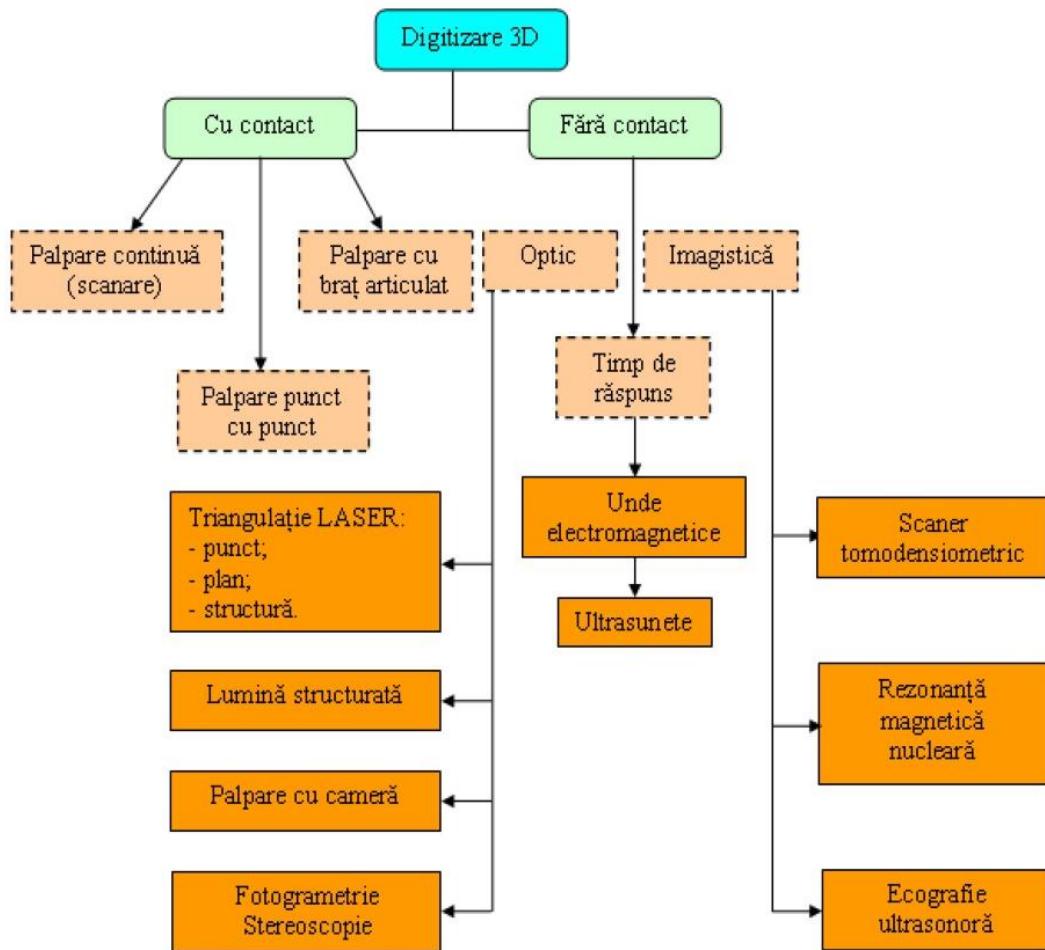


Fig. 1.2 Tehnologia de digitizare 3D

1.2.1 Scanere cu contact

Scanerele cu contact, utilizează un palpator care parcurge conturul geometriei piesei fizice, mișcările realizate fiind exemplificate în figura 1.3 [78]. În prezent, aceste dispozitive de scanare, axate pe măsurarea în coordonate, au o precizie și acuratețe corelate cu o viteză ridicată de scanare, ce acoperă intervalul de toleranță între $0.01 \div 0.02$ mm. În procesul de scanare, aceste dispozitive ating suprafața piesei, exercitând o presiune de contact, care poate avea o influență asupra măsurătorii, dacă materialul (de exemplu cauciuc, silicon, etc) se deformează în timpul procesului de scanare. În aceste situații este recomandată o scanare fără contact mecanic, pentru ca rezultatele să fie cât mai precise.



Fig. 1.3 Dispozitiv de scanare cu contact REVO în 5 axe

Scannerul REVO face parte din ultima generație de tehnologie care reproduce supafețe prin puncte de atingere, circulare sau elicoidale. Are o flexibilitate ridicată și datorită mobilității conferite de gradele de libertate, exceleză în procesul de măsurare. Componentele scannerului din figura 1.3 sunt prezentate în tabelul 1.1:

Tabel 1.1 Componente scanner cu contact REVO în 5 axe

Poz.	Componente
1	Cap de măsurare
2	Adaptor pentru palpator
3	Palpatorul
4	Vârf de măsurare
5	Bila de rubin

În cadrul măsurărilor se dorește obținerea unei precizii maxime oferită de palpator, fiind important de știut care sunt direcțiile optime de palpare pentru respectarea exigențelor procesului metrologic. Digitizarea punctelor pe direcții perpendiculare pe axa vârfului de palpare, are cea mai bună repetabilitate în comparație cu digitizarea pe alte direcții raportate la axa vârfului de palpare [24].

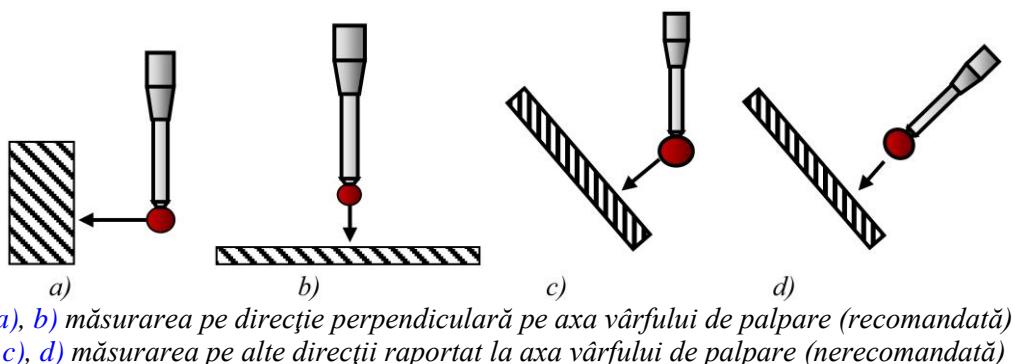


Fig. 1.4 Pricipalele direcții întâlnite la palpare

Pe baza datelor obținute prin măsurare poate fi generat fișierul în format STL descris în cadrul lucrării [20].

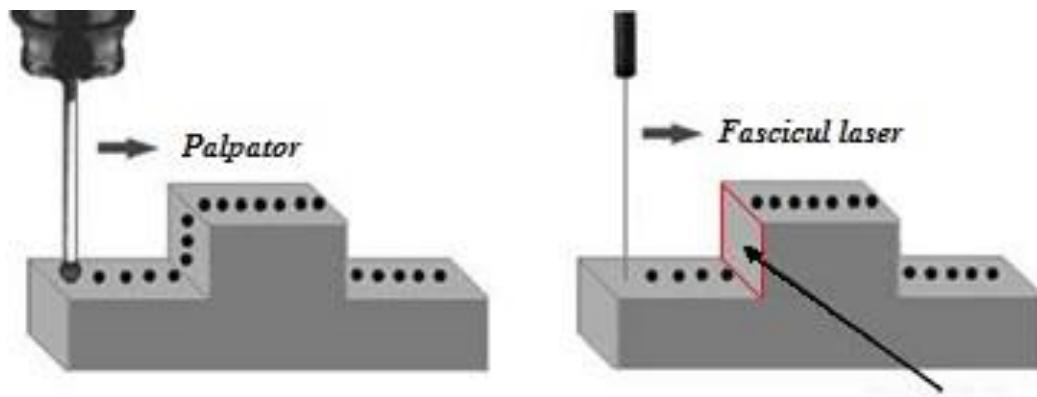
1.2.2 Scanere fără contact

Acest tip de scanere 3D fără contact fizic folosesc tehnologii de scanare bazate pe senzori optici, surse de lumină laser sau ambele tehnologii, pe piață existând o diversitate de dispozitive.

Scanerale optice 3D fără contact prezintă anumite avantaje față de tehniciile de măsurare cu contact. Dispozitivele cu contact măsoară în coordonate extrem de precise, dar au viteza de scanare limitată datorită inerției componentelor mecanice. Din contră scanerale optice 3D pot achiziționa milioane de puncte pe secundă [38].

Scanere fără contact prezintă totuși și următoarele dezavantaje:

- ✓ toleranță în care se încadrează este $\pm 0.025 - 0.2$ mm;
- ✓ probleme la unele scanere la achiziția de date pentru suprafetele care sunt paralele cu axa laserului [67];
- ✓ necesită lumină adekvată în procesul de scanare (pentru a preîntâmpina reflexia luminii se aplică o pulbere de granulație foarte fină înainte de scanare); exactitatea datelor rezultate în urma măsurării depinde de interpretarea adekvată a imaginii produse de lumina reflectată de obiect pe senzorul optic.

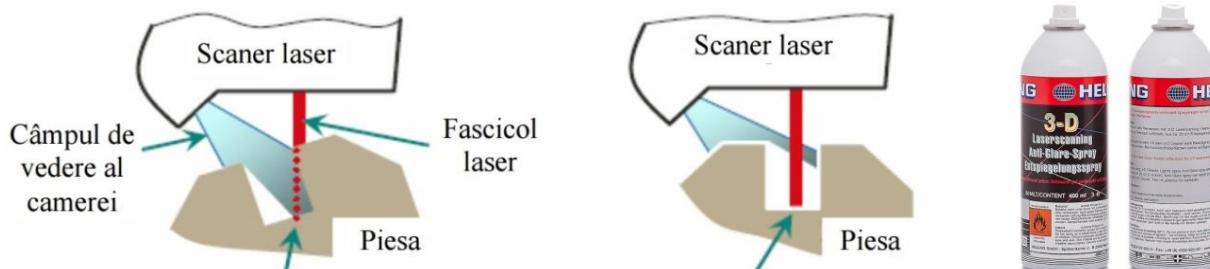


lipsă achiziție de date

Fig. 1.5 Comparație între un scanner cu contact și unul fără contact

Perturbările de formă a luminii reflectate se produc atunci când se schimbă reflexivitatea suprafetei, când geometria suprafetei are discontinuități sau fasciculul luminos este parțial obturat figura 1.6 [24].

Pentru întâmpinarea acestor efecte nedorite și pentru obținerea unor rezultate optimale la scanarea 3D se utilizează unui spray developant, figura 1.7 [86]. Acest spray trebuie aplicat uniform pe toate suprafetele lucioase, de la distanță de aprox. 20 cm. Datorită structurii și granulației foarte fină se va obține o suprafață mată, care va elimina reflexia luminii.



a) Suprafața este în câmpul vizual al camerei dar laserul nu o baleiază în întregime

b) Suprafața baleiată de fasciculul laser este obturată

Fig. 1.6 Fenomenul de umbră și de ocluziune

Fig. 1.7 Spray antireflex pentru scanare 3D

1.2.3 Tipuri de scanere

1.2.3.1 Scanerul 3D Noomeo Optimum

Acest tip de scaner se află în dotarea Universității "Eftimie Murgu" din Reșița din anul 2010. Scanerul s-a achiziționat printr-o finanțare de la Uniunea Europeană pe baza unui proiect de colaborare dintre Romania prin Universitatea "Eftimie Murgu" din Reșița și Serbia prin Colegiul Tehnic de Științe Aplicate din Zrenjanin. Prin intermediul acestui proiect, în cadrul Universității "Eftimie Murgu" Reșița, a luat naștere Centrul pentru Simulații Numerice și Prototipare.

Scanerul 3D Noomeo Optimum [80] din figura 1.8 este un scaner portabil, care se conectează la laptop prin conexiune USB 2.0, cu autonomie la nivel de ore oferită de acumulatorul inclus în configurație. Scanerul utilizează tehnologia „Vision based self-positioning”, realizează achiziția norului de puncte prin imagini fotografice multiple succesive, prin intermediul unui senzor optic cu rezoluția 1024x768 pixeli, care poate prelua până la 500.000 de puncte/imaginie. Caracteristicile tehnice ale acestui scaner sunt prezentate în tabelul 1.2.

Pentru sistemul de achiziție se recomandă configurația: CPU i7 Quad Core, RAM 8 GB, placă grafică NVIDIA FX3800 cu 1 GB memorie, sistem de operare: Win 7-64 biți.

Tabel 1.2 Caracteristicile tehnice ale scanerului 3D Noomeo Optimum

Acuratețe	+/- 100 µm
Rezoluție spațială	300 µm
Distanță de achiziție	400 mm
FOV (field of view) - câmp de observare	A4
DOF (depth of field) - distanța dintre obiectele cel mai apropiate și cele mai îndepărtate	150 mm
Volumul recomandat de scanare	10 cm ³ - 1 m ³
Dimensiunea minimă de scanare	1cm
Aplicația software dedicată	NumiSoft
Exportă formate de tip	ASCII, XYZ, DXF și STL
Dimensiuni LxIxH	230x230x80 mm
Masa	~2kg

Scanerul Noomeo Optinum [89] combină tehnologia luminii structurate, care permite captarea instantanee a geometriei prin analiza deformării unor repere luminoase repetitive proiectate pe obiect, cu procesarea imaginii 2D, care permite obținerea poziției scanerului față de obiectul vizat și capturarea texturii acestuia. Astfel, prin procesarea imaginii 2D, se obține autopoziționarea, care elimină necesitatea utilizării markerilor, iar fluxul de lumină oferă informațiile suplimentare necesare preluării geometriei sub forma unui nor de puncte.

Sistemul de autopoziționare al scanerului nu necesită pregătirea obiectelor scanate, instalarea lor într-un sistem de referință sau markeri de referință [45].



Fig. 1.8 Scanerul 3D Noomeo Optinum

1.2.3.2 Scanerul GO! SCAN 3D™

Scanerele din gama de produse, concepute Creaform oferă o experiență ușoară de scanare 3D pentru acest tip de scanere portabile de pe piață, generând măsurători exacte, rapide și fiabile.

Acest tip de scanere au sisteme de auto-poziționare, fără a necesita o experiență anterioară în utilizarea lor. Pot fi utilizate într-o gamă largă de aplicații cu scopul de a ajuta specialiștii pe întregul proces de dezvoltare a unui produs. Descrierea și specificațiile tehnice ale produsului sunt în conformitate cu datele oferite de producător, [figura 1.9, tabelul 1.3](#) [79].



Fig. 1.9 Scanerul Go!SCAN 3D™

Software-ul scanerelor Go! SCAN 3D este compatibil cu programele:

- 3D Systems (Geomagic ® Solution);
- Dassault (CATIA V5, SolidWorks);
- Rapidform (XOS, XOR și XOV);
- Siemens (NX și Solid Edge);
- InnovMetric Software (PolyWorks);
- PTC (Pro/ENGINEER);
- Autodesk (Inventor, Alias, 3ds Max, Maya, Softimage, MudBox).

Tabel 1.3 Specificații tehnice și comparare performanțe GO!SCAN 20™ și GO!SCAN 50™

	GO!SCAN 20™	GO!SCAN 50™
		
Precizie	de la 0.100 mm	
Precizia volumetrică *	0.300 mm/m	
Rezoluție	0.100 mm	0.500 mm
Rata de măsurare	550.000 de măsurători/s	
Sursa de lumină	Lumină albă LED	
Metode de poziționare	Geometrie și / sau culoare și / sau ținte	
Suprafața de scanare	143x108 mm	380x380 mm
Distanța de stativ	380 mm	400 mm
Adâncimea terenului	100 mm	250 mm
Gama de dimensiuni (recomandată)	0.05 – 0.5 m	0.3 – 3.0 m
Rezoluția texturii	50-250 DPI	50-150 DPI
Culori textură	24 biți	
Software-ul	VXelements	
Formate de ieșire	dae, .fbx, .ma, .obj, .ply, .stl, .txt, .wrl, .x3d, .x3dz, .zpr	
Software compatibil	Sisteme3D (Geomagic®Solutions), InnovMetric Software (PolyWorks), Dassault Systèmes (CATIA V5, SolidWorks), PTC (Pro /Engineer), Siemens (NX și Solid Edge), Autodesk (Inventor, Alias, 3ds Max, Maya, Softimage).	
Greutate	930 g	950 g
Dimensiuni	154 x 178 x 235 mm	150 x 171 x 251 mm
Conexiune standard	1 x USB 2.0	
Interval temperatură de funcționare	15-40 °C	
Interval umiditate de funcționare (fără condensare)	10-90%	

* Cu obiective de poziționare sau cu un obiect care prezintă o geometrie/textură adecvată culorilor pentru poziționare.

1.2.3.3 Scærerul HANDYSCAN 3D™

Modelul acesta de scærer, este unul din gama de vârf, fiind desemnat câştigătorul competiţiei *Reddot award winner* în anul 2015. Funcţionarea este similară cu modelul descris anterior, cu multiple îmbunătăţiri. Generaţia ulterioară a modelului HANDYSCAN 3D™, figura 1.10, este modelul HANDYPROBE NEXT™ 2016, figura 1.11, conceput şi destinat aplicaţiilor industriale, dotat cu sondă, capabil să efectueze măsurători precise în coordonate raportat la un sistem X, Y, Z.



Fig. 1.10 Scærerul HANDYSCAN 3D™

Fig. 1.11 Scærerul HANDYPROBE NEXT™

Din gama HANDYSCAN 3D fac parte modelele HANDYSCAN 300™ şi modelul avansat HANDYSCAN 700™. Caracteristicile modelelor, imaginea de prezentare şi specificaţiile tehnice descrise şi comparaţia din tabelul 1.4 sunt concordanţă cu datele oferite de către producător [79] şi anume:

- de 25 de ori mai rapid decât generaţia anterioară;
- cu 40 % mai precis;
- ergonomia îmbunătăţită:
 - 35% mai uşor;
 - 50% mai mic;
 - mai mare libertate de mişcare;
 - butoane multifuncţionale pentru interacţiunea uşoară cu software-ul.

Tabel 1.4 Specificaţii tehnice şi comparare performanţe HANDYSCAN 300™ şi HANDYSCAN 700™

HANDYSCAN.300™	HANDYSCAN 300™	HANDYSCAN 700™
Scannerul 3D este cel mai eficient pentru utilizare în RE respectiv la proiectare		
HANDYSCAN 700™ Acest model de scærer 3D are precizie şi rezoluţie ridicată, fiind cel mai versatil pe piaţă pentru inspecţie necesită utilizare în inginerie inversă, RE		

Greutate		0.85 kg	0.85 kg
Dimensiuni LxlxH		77x122x294 mm	
Rata de măsurare		205.000 de măsurători/s	480.000 de măsurători/s
Suprafața de scanare		225-250 mm	275-250 mm
Sursa de lumină		3 cruci laser	7 cruci laser (+1 extraliniie)
Clasa laser		2M (sigur pentru ochi)	2M (sigur pentru ochi)
Rezoluție		0.100 mm	0.050 mm
Precizie		de la 0.040 mm	de la 0.030 mm
Precizia volumetrică *		0.020+0.100 mm/m	0.020+0.060 mm/m
Precizia volumetrică cu	MaxSHOT Next™	0.020 mm + 0.025 mm/m	
	MaxSHOT Next™ Elite	0.020 mm + 0.015 mm/m	
Distanța standard		300 mm	
Domeniu adâncime		250 mm	
Gama de dimensiuni (recomandat)		0.1 - 4 m	
Software-ul		VXelements™	
Formate de ieșire		dae, .fbx, .ma, .obj, .ply, .stl, .txt, .wrl, .x3d, .x3dz, .zpr	
Software-uri compatibile		3D Systems (Geomagic® Solutions), InnovMetric Software (PolyWorks), Dassault Systèmes (CATIA V5, SolidWorks), PTC (Pro/ ENGINEER), Siemens (NX și Solid Edge), Autodesk (Inventor, Alias, 3ds Max, Maya, Softimage	
Conexiune standard		1xUSB 3.0	
Temperatura de operare		5-40°C (41-104°F)	
Gama de umiditate de funcționare (necondiționată)		10 - 90%	

* Bazat pe standardul ISO 10360, precizia volumetrică este definită ca o valoare dependentă de mărime.

1.2.3.4 Scannerul METRASCAN 3D™

Pentru o precizie înaltă de măsurare sunt utilizate scanere cu senzor optic. Deoarece precizia trebuie să fie cât mai aproape de realitate și pentru o manipulare exactă unele scanere sunt prevăzute cu dispozitive de prindere și fixare pe roboți industriali, fiind complet automatizate [figura 1.12](#), respectiv [figura 1.13](#). Aceste scanere sunt de regulă utilizate de companiile care doresc să obțină rezultate precise rapid în scopul accelerării proceselor industriale de inspecții cu scopul de îmbunătățire a calității cât mai ușor și mai eficient posibil.



[Fig. 1.12 Scannerul METRASCAN 3D™](#)



[Fig. 1.13 Scannerul METRASCAN 3D R-SERIES™](#)

Noile caracteristici pentru scannerul METRASCAN 3D™, de ultimă generație, constă în:

- ✓ cu 1.5 mai multă precizie;
- ✓ de 12 ori mai rapid cu 7 cruci laser;
- ✓ 25 % mai luminos;
- ✓ scanează orice tip de material, chiar și negru, suprafete multicolore și lucioase;
- ✓ volum mai mare de 16.6 m³;
- ✓ design robust pentru fiabilitate hardware;
- ✓ butoane multifuncționale pentru interacțiunea mai ușoară cu software-ul.

În tabelul 1.5 sunt redate caracteristicile scannerelor profesionale Metrascan de ultimă generație. Acestea împreună cu descrierea caracteristicilor tehnice sunt în concordanță cu datele oferite de către producător [79].

Tabel 1.5 Specificații tehnice și compararea performanțelor scannerelor din gama METRASCAN™

	METRASCAN 3D	METRASCAN 350™	METRASCAN 350™ ELITE	METRASCAN 750™	METRASCAN 750™ ELITE
Precizie	de la 0.040 mm		de la 0.030 mm		
Precizia volumetrică ⁽²⁾	9.1 m ⁽³⁾ 16.6 m ⁽³⁾	0.086 mm 0.122 mm	0.064 mm 0.078 mm	0.086 mm 0.122 mm	0.064 mm 0.078 mm
Precizia volumetrică (cu MaxSHOT 3D sau C-Link)		0.060 mm + 0.025 mm	0.044 mm + 0.025 mm	0.060 mm + 0.025 mm	0.044 mm + 0.025 mm
Rezoluție	0.050 mm		0.050 mm		
Rata de măsurare	205.000 de măsurători/s		480.000 de măsurători/s		
Interval dimensiunii obiectului (recomandat)	0.2-6 m		0.2-6 m		
Distanță stativ	300 mm		300 mm		
Domeniu adâncime	200 mm		200 mm		
Suprafață de scanare	225-250 mm		275-250 mm		
Sursa de lumină	3 cruci laser		7 cruci laser (+1 extralinie)		
Clasa laserului	2M (sigure pentru ochi)		2M (sigure pentru ochi)		
Greutatea	1.38 kg		1.38 kg		
Dimensiuni	289x235x296 mm		289x235x296 mm		
Conexiune standard	1xUSB 3.0		1xUSB 3.0		
Software-ul	VXelements™		VXelements™		
Formate de ieșire	dae, .fbx, .ma, .obj, .ply, .stl, .txt, .wrl, .x3d, .x3dz, .zpr		dae, .fbx, .ma, .obj, .ply, .stl, .txt, .wrl, .x3d, .x3dz, .zpr		
Interval temperatură de funcționare	5-40 °C		5-40 °C		
Interval umiditate (fără condensare)	10-90%		10-90%		

⁽¹⁾ Valoarea tipică pentru măsurarea diametrului de pe un artefact tip sferă calibrat.

⁽²⁾ Performanța este evaluată cu artefacte de lungime identificabile prin măsurarea acestora în diferite locații și orientări în cadrul volumului de lucru al C-Track (valoarea = deviația maximă).

⁽³⁾ Performanța preciziei volumetrice pentru MetraSCAN 3D depinde de volumul de lucru în care se face măsurătoarea 9.1 m⁽³⁾ sau 16.6 m⁽³⁾.

⁽⁴⁾ Performanța preciziei volumetrice a sistemului atunci când se utilizează MaxSHOT 3D.

1.2.3.5 Scanerul ATOS Compact Scan

Acest tip de scaner este produs de firma GOM, care are peste 20 de ani de experiență în dezvoltarea scanerelor 3D și menține o colaborare directă cu clienții pentru a îmbunătăți calitatea produselor și a oferi soluții pentru majoritatea domeniilor de aplicabilitate.

ATOS Compact Scan din [figura 1.14](#) definește o nouă clasă de scanere pentru măsurare și inspecție 3D. Ușor și compact, deschide noi domenii de aplicare și asigură adaptabilitate optimă pentru măsurarea componentelor 3D, cum ar fi cele turnate și injectarea de piese modelate, forme și modele, interioare, prototipuri, modele de design, etc. Specificațiile tehnice, descrierea tehnologiei din cadrul [tabelului 1.6](#), imaginile sunt preluate de la producătorul GOM [84].



a) ATOS Compact Scan

b) ATOS Compact Scan cu braț de fixare și ghidare

Fig. 1.14 Scanerul 3D ATOS Compact Scan

Scanerul extrem de avansat și combinat cu software-ul integrat pentru scanere și inspecție oferă o multitudine de soluții avansate pentru:

- ✓ Măsurători 3D cu precizie și rezoluție înaltă;
- ✓ Procesare și achiziție de date rapidă;
- ✓ Utilizarea pentru inspecție avansată și amănunțită;
- ✓ Analiză a dimensiunilor completă prin compararea cu obiectul etalon;
- ✓ Emiterea rapoartelor cu informații complete și detaliate.

Tehnologia dezvoltată de GOM cu care este dotat scanerul ATOS, oferă o serie de avantaje în utilizare conform [tabelului 1.6](#).

Tabel 1.6 Tehnologia aplicată și dezvoltată de GOM pentru scanerul ATOS Compact Scan

Tehnologia aplicată	Descierea tehnologiei
Tehnologia luminii albastre 	<ul style="list-style-type: none"> - scanare independentă de condițiile de iluminare ambientală; - scanare rapidă pentru componente mari; - costuri reduse de întreținere; - datele măsurate de înaltă calitate.

<i>Combinarea tehnologiei de scanare cu cea de palpare</i>		<ul style="list-style-type: none"> - tehnologie industrială GOM cu cameră stereo; - capturare detalii fine, chiar și pentru cele mai mici componente cu înaltă rezoluție; - combină scanarea domeniului complet și măsurarea cu palpatorul; - schimbare instantanee între scanare și sondare cu palpatorul.
<i>Tehnologia de scalare pe bază de proiecție</i>		<ul style="list-style-type: none"> - precizie adaptabilă pentru detaliile care impun rezoluția și viteza; - digitalizare prin scalare dimensională mică pentru reproducerea pieselor mari, cu un cap de senzor; - partea de analiză completă; - se măsoară componente de mari dimensiuni de până la zeci de metri.
<i>Clasă compactă de utilizare</i>		<ul style="list-style-type: none"> - măsurare simplă indiferent de mediu; - componente de vârf cu camere stereo de 2 sau 5 megapixeli; - măsurare și inspecție complexă; - noi aplicații, de exemplu măsurători în spații interioare și extrem de înguste.
<i>Portabilitate</i>		<ul style="list-style-type: none"> - transport ușor; - senzor ușor; - calculator portabil, puternic de procesare a imaginii standard; - sistem, trepied, zone de măsurare și masă rotativă manual.
<i>Trusa cu sistemul complet de măsurare</i>		<ul style="list-style-type: none"> - senzor, laptop, software, accesorii; - camera stereo ATOS de înaltă precizie; - include software-ul de măsurare și control; - formare completă și suport.

Tabel 1.7 Date tehnice și comparare performanțe ATOS Compact Scan 2M și ATOS 5m Compact Scan

		
Configurațiile sistemului	ATOS Compact Scan 2M	ATOS 5M Compact Scan
Pixeli	2x2.000.000	2x5.000.000
Măsurarea suprafețelor	35x30-1000x750 mm ²	40x30-1200x900 mm ²
Spațiere punct	0.021 - 0.615 mm	0.017 - 0.481 mm
Distanta de lucru	450 - 1200 mm	450 - 1200 mm
Dimensiuni senzor	340 mm x 130 mm x 230 mm	
Greutate	cca. 4 kg	
Controler senzor	integrate	
Lungime cablu	până la 30m	
Pozitionarea senzorului	trepied ușor sau suport senzor	
Partea de pozitionare	masă de rotație manuală sau automată	
Imaginea de procesare a computerului	portabile sau desktop	
Sistemul de operare	Windows 7, Windows 10	
Software-ul	captare de date, prelucrare și control complet	
Ambient iluminat	sensibilitate redusă la condițiile de iluminare mediu	
Vibrării de mediu	neafectat din cauza GOM sistemul de referință dinamic	
Temperatura de operare	5-40 ° C, fără condensare	
Sursa de alimentare	90 - 230 V AC	

1.2.3.6 Scanerul ATOS Triple Scan

Scanerul ATOS Triple Scan este un scaner portabil și fără contact care reprezintă gama de vârf a produselor dezvoltate de GOM. Acest scaner este utilizat cu precădere în aplicații industriale diverse și complexe care presupun: digitalizare 3D, măsurarea în coordonate 3D, scanare completă și controlul calității, inginerie inversă.

Scanerul ATOS Triple Scan folosește o tehnologie de măsurare și de proiecție, special dezvoltată de GOM. Folosind această tehnologie nouă se obțin măsurători de o mare precizie, îmbunătățită pentru măsurarea suprafețelor lucioase, date complete cu privire la componente complexe, piese cu diverse adâncituri sau margini fine. Imaginele din [figurile 1.15, 1.16](#) respectiv sunt preluate de la [84], iar datele din [tabelul 1.8](#) de la reprezentantul GOM din România [90].



Fig. 1.15 Scanerul 3D ATOS Triple Scan



Fig. 1.16 Scanerul 3D ATOS Triple Scan manipulat de un robot industrial

Tabel 1.8 Date tehnice, descriere și compararea performanțelor ATOS II Triple Scan și ATOS III TripleScan

Configurațiile sistemului	ATOS II Triple Scan	ATOS III Triple Scan
Pixeli	2x5.000.000	2x8.000.000
Măsurarea suprafețelor dintr-o singură captură	38x20- 2000x1500 mm ²	38x20- 2000x1500 mm ²
Spațiere punct	0.02 - 0.79 mm	0.01 - 0.61 mm
Distanța de lucru	490 – 2000 mm 490 – 2000 mm	490 – 2000 mm
Puncte măsurate	5 mil.	8 mil.
Temperatura de operare	5-40 ° C, fără condensare	
Caracteristici tehnologice ATOS		
Scanare triplă	Scanare ușoară pentru suprafețe negre sau lucioase și pentru piese complexe	
Tehnologia luminii albastre	Scanare independentă de condițiile de iluminare din mediu	
Automatizare NIVEL 1	Tabele de rotație, unități liniare, unități de înclinare și pivotare	
Automatizare NIVEL 2	Roboti	
Modul de scanare rapidă	Da	
Compatibil GOM atingere probă	Da	
Controler senzor	integrate	
Computer hardware		
Conexiune PC	de ultimă generație	
Operarea notebook	Pentru a crește mobilitatea	
Stație de lucru variabilă	Situat și așezat pe diverse înălțimi	
Sursa de alimentare	90 - 230 V AC	
Lungime cablu	până la 30m	
Software-ul profesional ATOS		

Captură date	digitalizare de la ATOS 3D
Importă CAD	CATIA V4, CATIA V5, PRO/E, NX Unigraphics, IGES, STEP, JT-Open, Parasolid, etc.
Import plan de măsure	ASCII, CSV, FTA, etc.
Procesare mesh	Generare mesh-urilor poligon, netezire, subțiere, umplere gaură, etc.
Analiza 3D	Comparare CAD, analiză GD și T, generație primitivă
Analiza 2D	Analiza 2D bazată pe secțiuni
Analiză multiplă a parturilor	Standard, fără scriptare folosind instruirea raportului Doing
Raport	Prima inspecție articol, tabele (de exemplu, VDA), care poate fi definit liber şablonate de raport, etc.

1.3 Aplicații software specifice

1.3.1 Aplicația Agisoft

Aplicația Agisoft a luat naștere în anul 2006, fiind dezvoltată de o companie din Rusia, pe baza unei idei care a început cu „*o companie inovatoare de cercetare, cu accent pe tehnologia viziunii pe computer, Agisoft LLC a acumulat expertiză în algoritmii de procesare a imaginii prin tehnici digitale de fotogrametrie, stabilind direcția de dezvoltare a instrumentelor aplicate*” [77]; în prezent aplicația se utilizează în diverse domenii de activitate cu rezultate deosebit de precise în reconstituirea modelelor 3D. De menționat este că rezultatele obținute sunt realizate cu un buget relativ scăzut comparativ cu rezultatele obținute în urma scanării cu 3D scanere profesionale. În cadrul acestei aplicații sunt disponibile următoarele variante:

- Agisoft Metashape Professional Edition, aplicație disponibilă la un preț de 3 499 dolari;
- Agisoft Metashape Standard Edition, aplicație disponibilă la un preț de 179 dolari dolari;
- Licență educațională gratuită pentru instituțiile de învățământ acreditate oficial.

Informațiile din [tabelul 1.9](#) se referă la cerințele hardware necesare în utilizarea aplicației [77]. Licențele Agisoft Metashape sunt compatibile cu versiunile anterioare denumite Agisoft PhotoScan.

Tabel 1.9 Cerințe hardware calculator program Agisoft

Configurația de bază până la 32 GB RAM	Configurație avansată până la 64 GB RAM	Configurație extremă mai mult de 64 GB RAM
CPU: procesor Quad-core Intel Core i7, Socket LGA 1150 sau 1155 (Kaby Lake, Skylake, Broadwell, Haswell, Ivy Bridge/Bridge Sandy)	Procesor: procesor Intel Core i7 cu octa-core sau hexagonal, Socket LGA 2011-v3 sau 2011 (Broadwell-E, Haswell-E, Ivy Bridge-E sau Sandy Bridge-E)	Pentru procesarea seturilor de date extrem de mari, cu o stație Intel Xeon Workstation, soclu dublu.
Plăci de bază: orice model LGA 1150 sau 1155 cu 4 sloturi DDR3 și cel puțin 1 slot PCI Express x16	Plăci de bază: orice model LGA 2011-v3 sau 2011 cu 8 sloturi DDR4 sau DDR3 și cel puțin 1 slot PCI Express x16	
RAM: DDR3-1600, 4 x 4 GB (total 16 GB) sau 4 x 8 GB (total 32 GB)	RAM: DDR4-2133 sau DDR3-1600, 8 x 4 GB (32 GB total) sau 8 x 8 GB (64 GB total)	
GPU: Nvidia GeForce GTX 980 sau GeForce GTX 1080 (optional)	GPU: Nvidia GeForce GTX 980 Ti, GeForce GTX 1080 sau GeForce TITAN X	

1.3.2 Aplicația Geomagic Design X

Geomagic Design X reprezintă calea cea mai rapidă de la scanare la conversie model 3D de tipul SCAN-TO-CAD, dezvoltat de 3D SYSTEMS. Geomagic Design X, cea mai cuprindătoare aplicație de inginerie inversă, ce combină tehnica de modelare 3D cu procesarea datelor de scanare, pentru a se crea modele sub formă de suprafețe sau solide [83]. Cerințele de sistem impuse de producător pentru a putea utiliza aplicația sunt prezentate în [tabelul 1.10](#) [91].

Tabel 1.10 Cerințe sistem pentru software-ul Geomagic Design X

Hardware	Procesor	Procesoare Intel® și AMD® cu o viteză minimă de 2 GHz * Recomandat: procesoare cu mai multe nuclee. Hyperthreading și viteze de peste 3 GHz pot fi benefice, trebuie asociate bine cu numarul de nuclee
	RAM	minim 8GB
	GPU, Unitatea de procesare grafica	Design X carduri grafice recomandate Recomandat: Placă grafică dedicată (neintegrată) care îndeplinește criteriile de mai jos: RAM video card: 4 GB sau mai mult, Cadru pentru carduri video: trebuie să suporte OpenGL 4.0 sau o versiune ulterioară Celealte tipuri de placi grafice recomandate sunt disponibile pe site-ul Geomegic Design X Notă: <i>Utilizarea unei plăci grafice nerecomandate poate duce la anomalii grafice sau la coruperea datelor.</i>
	Unități	Se recomandă un SSD cu mai mult de 256 GB de spațiu sau un HDD de 10000 RPM
	Spatiu pe disc	- Se recomandă 30 GB sau mai mult - La fiecare 100 milioane de puncte memoria cache temporară necesită aproximativ 3 GB spațiu liber. - Recomandat pentru produsele de scanare 3D: utilizarea mai multor unități de hard disk și atribuirea unei ca unitate "cache" pentru stocarea temporară și fișierele de paginare și asignarea celeilalte pentru sistemul de operare
Altele		- Mouse-ul cu 3 butoane cu scroll, placă de sunet, tastatură și card de rețea.
Sistem de operare	Windows 7, 64 biți	DA
	Windows 8, 64 biți	DA
	Windows10, 64 biți	DA
	Notă: * Nu sunt acceptate configurațiile care utilizează medii virtuale.	
Software-uri	Microsoft Office	2003, 2007 sau 2010 pentru instrumente de raportare
	Browsere	Microsoft Internet Explorer, versiunea 7 sau versiuni mai noi
	Altele	Adobe Acrobat / Reader versiunea 5.x sau o versiune ulterioară, Microsoft Windows Installer 3.0, Microsoft DirectX 9.0 sau o versiune ulterioară Microsoft .NET 4.0 sau 4.5 Framework

1.3.3. Aplicația SolidWorks

Este o aplicație de proiectare asistată de calculator de tip CAD fiind achiziționată în anul 1997 de Dassault Systèmes. Cerințe hardware și software pentru aplicația SolidWorks sunt prezentate în [tabel 1.11 \[92\]](#):

Tabel 1.11 Cerințe hardware și software PC pentru aplicația SolidWorks

		SOLIDWORKS 2017 (EDU 2017-2018)	SOLIDWORKS 2018 (EDU 2018-2019)	SOLIDWORKS 2019 (EDU 2019-2020)
Hardware	Procesor	3,3 GHz sau mai mare		
	RAM	16 GB sau mai mulți, distribuiți pentru: 8GB sau mai mulți, lucru, editare și vizualizare/ contributor PDM sau Viewer 8GB sau mai mulți pentru accesare PDM Web Client sau Web Server		
	Placa grafică	Certificată și compatibilă cu versiunile de SolidWorks		
	Unități	Se recomandă unități SSD pentru o performanță optimă		
	Spatiu pe disc	PDM Contributor sau Viewer: 10 GB sau mai mult, PDM Client Web sau Server Web: 5 GB sau mai mult, PDM Archive Server sau Database Server: 50 GB sau mai mult, SOLIDWORKS Gestionări: 10 GB sau mai mult		
	Windows 10, 64-bit	DA	DA	DA
Sistem de operare	Windows 8.1, 64-bit	DA	DA	NU
	Windows 7, 64 biti	DA	DA	DA
	Microsoft Excel și Word	2010, 2013, 2016	2010, 2013, 2016	2013, 2016, 2019 (SW2019 SP2)
	Browsere (client PDM Web2)		Microsoft Internet Explorer, Microsoft Edge, Google Chrome, Mozilla Firefox, Apple Safari	

1.3.4 Aplicația GOM Inspect

Aplicația GOM-Inspect [\[84\]](#) este o aplicație „free” care permite inspecția 3D și procesarea rețelelor poligonale pentru analiza dimensională a seturilor de date de tip nor de puncte. Capabilități ale aplicației: import de modele CAD (IGES, STEP, etc.) și a datelor scanate sub formă de nor de puncte (STL, ASCII), aliniere (automatic, 3-2-1, best-fit), procesare mesh (generare mesh, umplerea găurilor, rafinare mesh, extragerea curburii, export STL, ASCII), comparații CAD (suprafete, secțiuni, puncte), generare de primitive CAD (linii, plane, cercuri, cilindrii, con, etc.), instrumente de inspecție 3D și analiză 2D (dimensiuni, unghiuri, diametre), generarea de rapoarte (tabele, imagini, PDF) și export de date [\[80\]](#). Cerințele conform producătorului sunt prezentate în [tabel 1.12 \[85\]](#).

Tabel 1.12 Cerințe minime hardware PC aplicație GOM-Inspect

Procesor:	Intel Core i3
Sistem de operare:	Windows 7, 64 biti
Memorie:	4GB RAM
Placă video:	NVIDIA Quadro
Port:	USB 2.0

1.3.5 Aplicația NumiSoft

Aplicația NumiSoft a fost dezvoltată de Noomeo. În anul 2012, aprox. 4 mld. euro au fost investiți în R&D pentru a face față în industria aerspatială prin colaborarea cu clienți de prestigiu Dassault Aviation din cadrul Dassault Systèmes. Această aplicație se achiziționează împreună cu scanerul la un preț de 25.000 euro [81].

Scanerul Noomeo Optimum [45] este însotit de software-ul dedicat NumiSoft, care intermediază întreg procesul de achiziție și realizează achiziția modelului 3D la nivel de nor de puncte. În același timp, NumiSoft constituie driverul de comunicare cu partea hardware și conține algoritmi specifici pentru procesarea norului de puncte: aliniere 3D a norului de puncte, reconstrucție automată a modelului 3D, capabilități de curățare a norului de puncte, rafinarea multiorbitelor ascuțite, optimizări punctuale, export nor de puncte în format ASCII și XYZ, comparație cu geometrie STL-CAD la nivel de puncte, strategii de aliniere de tip geometrie și/sau textură [80].

Tabel 1.13 Cerințe minime hardware PC aplicație NumiSoft

Procesor:	Intel Core i7-740QM 1.73 GHz 6MB, Quad Core, / Intel Core i7-640M
Sistem de operare:	Windows 7 pro sau ultimate 64 Bits
Memorie:	8GB ram DDR3-1333MHz (4 x 2Go)
Placă video:	NVIDIA Quadro FX3800M (1Go memorie dedicată)
Port:	USB 2.0

1.3.6 Aplicația VXelements

Este o aplicație software dedicată care se achiziționează împreună cu scanerul HANDY 700, din cadrul companiei producătoare Creaform, în cadrul căreia au fost dezvoltate mai multe variante, care au caracteristicile redate în [tablelul 1.14](#). Cerințele minime de performanță hardware și software pentru soluțiile de măsurare 3D din cadrul aplicațiilor Creaform trebuie să acopere următoarele configurații care sunt prezentate în [tabelul 1.15](#).

Tabel 1.14 Comparare caracteristici variante aplicării Creaform

	VXelements	VXmodel	VXinspect	VXtrack
Modul de măsurare multiplă	DA		DA	
Editare mesh-uri		DA		
Aliniere	DA	DA	DA	
Entități geometrice	DA	DA	DA	
Suprafața NURBS		DA		
Transferul la software-ul CAD		DA		
Import CAD		DA	DA	
Dimensionarea geometrică și toleranță (GD&T)			DA	
Generare raport			DA	
Urmărirea modelului 3D întă				DA

Tabel 1.15 Cerințe minime de sisteme pentru aplicațiile Creaform

Modelul computerului	HP ZBook 15	HP ZBook 17
Procesor	Intel Core i7 (mai mult de 6 nuclee) - 2.6 GHz sau mai mult ⁽¹⁾	Intel Core i7 (mai mult de 6 nuclee) - 2.6 GHz sau mai mult ⁽²⁾
Sistem de operare ⁽³⁾	Windows 7 (64 biți), Windows 8.1 (64 biți) sau Windows 10 (64 biți)	
Placă grafică	NVIDIA Quadro P1000, OpenGL 4.5 și versiuni ulterioare	NVIDIA Quadro P5200, OpenGL 4.5 și versiuni ulterioare
Memorie	32 GB (min.) sau 64 GB (recomandat)	64 GB
Hard disk	Solid state drive (SSD) cu cel puțin 200 GB de spațiu liber	
Rezolutie	1920 x 1080	
Conectare porturi	USB 3.0. Se vor consulta specificațiile dispozitivelor pentru detalii.	
Microsoft Excel ⁽⁴⁾	Excel 2016	

⁽¹⁾ Procesorul trebuie să fie compatibil cu instrucțiunile AVX.
⁽²⁾ Procesorul trebuie să susțină instrucțiunile AVX2.
⁽³⁾ Sistemul pe 32 de biți nu este acceptat.
⁽⁴⁾ Microsoft Excel este necesar pentru următoarele module de VXelements: VXinspect, scanare VXinspect și sonde VXinspect. Este, de asemenea, necesar pentru următorul software: Pipecheck, Pipecheck Analyze și SmartDENT 3D.

1.4 Aplicații de scanare 3D și fotogrametrie

Ingineria inversă prin reconstituirea 3D a geometriilor, fie prin scanare 3D cu ajutorul scannerelor sau prin fotogrametrie, are o vastă aplicabilitate în majoritatea domeniilor de activitate din prezent cu o tendință continuă de dezvoltare în viitor. Un aspect important este acela că prin prototiparea rapidă, cu ajutorul imprimantelor 3D, se pot reproduce cu exactitate, la scara dorită, geometriile reconstituite indiferent de complexitatea acestora și materialul ales. Spre exemplificare se pot obține în momentul actual obiecte din: plastic, metal, ciment, material biodegradabil, biocompatibil. În medicină, se poate reproduce cu ajutorul bio-imprimantelor 3D atât pielea din țesut uman, cât și anumite organe, constituindu-se evoluții remarcabile și deosebite în cadrul acestui important domeniu de activitate. Principalele domenii de aplicare ale fotogrametriei sunt prezentate în tabelul 1.16.

Tabel 1.16 Diverse domenii de aplicare a ingineriei inverse

Măsurarea și reproducerea obiectelor industriale	Entomologie	Conservarea, protejarea patrimoniului cultural și istoric
Industria energetică, auto, navală, aerospațială	Geologie și monitorizarea terenului	Investigare accidente și criminalistică
Animatii calculator, filme, jocuri video	Măsurători topografice intra și extraterestre	Paleontologie
Biomecanică și ortopedie	Arhitectură	Domeniul mecanic
Stomatologie	Construcții civile și infrastructură	

1.4.1 Biomecanică și ortopedie

Scanarea 3D în domeniul medicinii constituie un rol deosebit de important în mod special pentru obținerea imaginilor distincte pentru țesut osos, dentar și moale în vederea reconstrucției țesutului cât mai aproape de cel real. Structura țesutului poate fi adaptată cu exactitate în funcție de nevoile pacienților.

Leonardo da Vinci, un reprezentant de seamă al Renașterii italiene, a realizat foarte multe schițe care redau în detaliu și cu exactitate anumite componente ale scheletului uman, structuri osoase. [Figura 1.17 \[9\]](#) redă schița lui Leonardo da Vinci, realizată în anul 1510, fiind un studiu anatomic consacrat asupra mâinii care aparține scheletului uman.

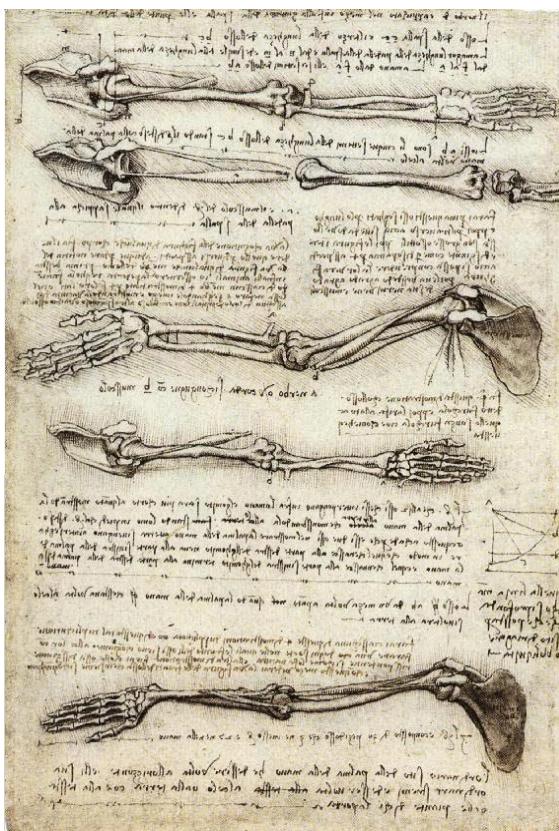


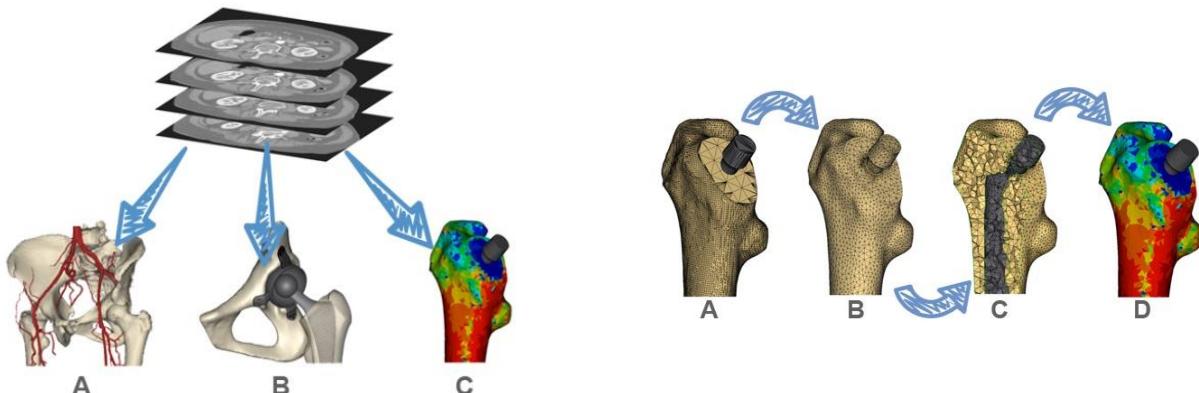
Fig. 1.17 Studiul științific al lui Leonardo da Vinci asupra brațului uman

În prezent evoluția scanării poate furniza structuri digitizate detaliate și cu ajutorul pachetelor software adecvate și dedicate se pot obține modele virtuale care pot reda cu o complexitate ridicată, fiind aproape identice cu structura scanată.

Există mai multe tehnici de scanare 3D, care au fost utilizate în aplicații medicale. Tomografie computerizată (CT), imagistică prin rezonanță magnetică (IRM), imagistică cu ultrasunete și scanare 3D cu laser sunt cele mai frecvent utilizate [\[34\]](#).

Ingineria inversă are un aport considerabil în domeniile medicale: ortopedie, crano-maxilo facial, cardiovascular.

Pe baza imaginilor realizate prin scanări succesive se pot obține modele 3D necesare proiectării de proteze ortopedice, ca în [figura 1.18 \[87\]](#).



a) Pincipalele etape pentru ingineria inversă în ortopedie
A: Examinare; **B:** Proiectare și **C:** Modelare

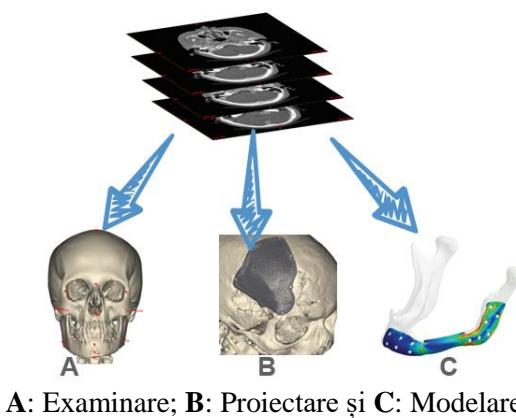
b) Analizarea, modelarea și simularea pe baza preciziei oferite prin intermediul FEA/CFD

Fig. 1.18 Aplicarea ingineriei inverse pentru a reconstituui articulația șoldului

Prelucrarea datelor medicale obținute în urma scanării constituie o primă etapă importantă premergătoare pentru cercetarea, proiectarea și dezvoltarea modelelor anatomicice care are ca obiectiv îmbunătățirea implantului, proteza integrată în organismul uman.

1.4.2 Medicina cranio-maxilo-facială

Intervențiile de acest tip se referă la reconstituirea și repararea anumitor anomalii cauzate de diverse traume, leziuni, malformații congenitale survenite în urma unor accidente sau dobândite la naștere. Implanturile pe cutia craniiană, în mod special pe față, trebuie realizate cu o acuratețe deosebită pentru a nu se observa asimetrii care pot duce la modificări ale fizionomiei, datorită unei structuri necorespunzătoare care poate modifica aspectul. Acest tip de intervenții sunt extrem de costisitoare datorită prețului ridicat.



A: Examinare; **B:** Proiectare și **C:** Modelare

Fig. 1.19 Pincipalele etape de aplicare a ingineriei inverse în intervențiile cranio-maxilo-faciale

În cadrul [figurilor 1.19 și 1.20 \[87\]](#) se prezintă exemple de intervenție de reconstrucție asupra modelului 3D convertit și obținut din cadrul imaginilor scanate de tip DICOM pentru a obține un format editabil 3D al craniului uman. În imaginea B din cadrul figurii este realizată o placare pe cutia craniană, iar în imaginea C este realizat și integrat în mandibulă un implant ce presupune reconstituirea unei părți din acesta.

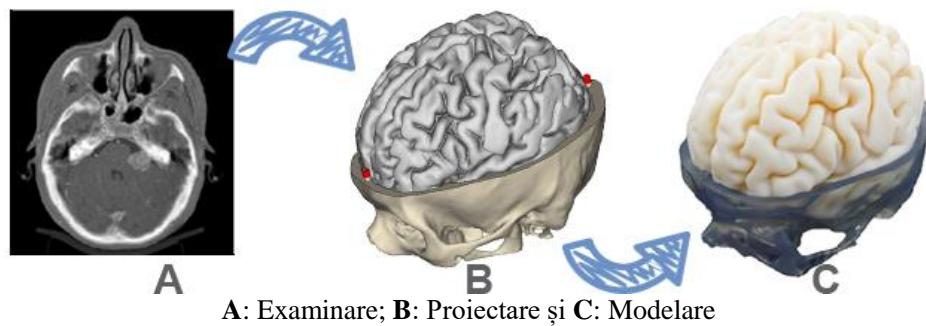


Fig. 1.20 Etapa de scanare, editare și reproducere a creierului uman prin aplicarea tehnologiei de inginerie inversă

Aplicarea ingineriei inverse în domeniul medical se exemplifică și prin următoarele lucrări: [\[34\]](#), [\[43\]](#), [\[82\]](#).

1.4.3 Patrimoniu cultural

Principalele obiective care stau la baza utilizării ingineriei inverse pentru a pune în valoare patrimoniul cultural prin scanare 3D și fotogrametrie, sunt descrise în [tabel 1.17](#):

Tabel 1.17 Principalele obiective ale ingineriei inverse pentru patrimoniul cultural

Nr. crt.	Obiective	Nr. crt.	Obiective
1	Descifrarea istorică	5	Arhivarea obiectelor digitale
2	Reconstrucția digitală	6	Monitorizarea conservării
3	Reproducerea fizică	7	Păstrarea sculpturii
4	Expoziții virtuale și educație	8	Lucrări de restaurare

Un exemplu de reconstituire este digitalizarea 3D a unei sculpturi din cadrul proiectului Digital Michelangelo a fost realizat de o echipă profesori și studenți de la Universitatea Stanford, în perioada 1998 - 2001. Laserul utilizat în acea perioadă a fost unul de ultimă generație la perioada respectivă. Detaliile și rezultatele aplicării tehnologiei sunt prezentate în cadrul [figurii 1.21 \[39\]](#) și în cadrul [tabelului 1.18 \[39\]](#).

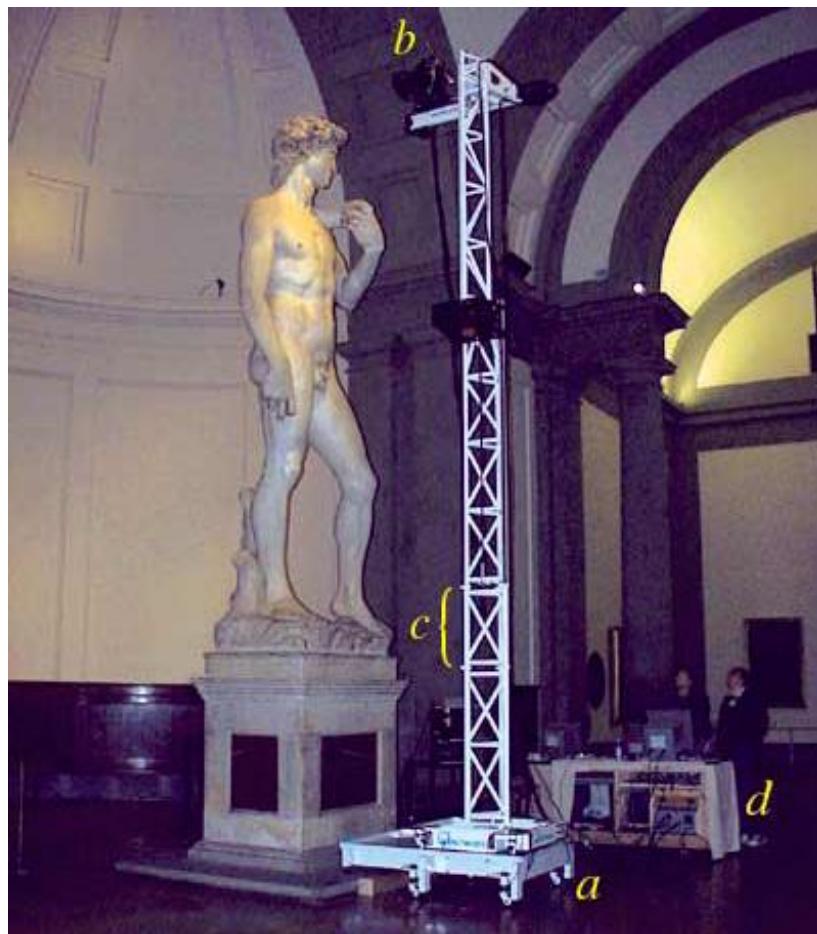


Fig. 1.21 Scunerul Cyberware fixat în picioare alături de statuia David a lui Michelangelo

(platforma (a) este extinsă la înălțimea maximă, plasând astfel capul de scanare (b), (c), secțiune adăugată ulterior, scunerul a fost legat la un banc de lucru mobil (d), care conține elementele electronice ale scannerului, un Octane Silicon Graphics, și 72 GB de stocare pe disc.)

Tabel 1.18 Statistici rezultate în urma scanării statuii David a lui Michelangelo

Statuia	
Înălțime fără piedestal	517 cm
Suprafață	19 m ²
Volumul	2.2 m ³
Greutatea	5800 kg
Setul de date brut după scanare	
Numărul de poligoane	2 miliarde
Numărul de imagini color	7000
Mărimea comprimată	32 GB
Alte statistici	
Mărimea totală a echipei de scanare	22 de persoane
Personal din muzeu	3 persoane (în medie)
Timpul petrecut de scanare	360 ore, peste 30 de zile
Ore scanate de om	1080
Ore post-prelucrare de om	1500

1.4.4 Domeniul mecanic

În domeniul mecanic se regăsesc diverse lucrări de reconstituire a geometriilor 3D prin scanare. În lucrarea [48] este utilizat scannerul Noomeo Optimum pentru reconstituirea prin scanare 3D a unei piese tipizate, rezultând 9.107.387 de puncte. Pentru reconstituirea piesei tipizate a fost necesară utilizarea aplicațiilor: Rapidform XOR3 (Geomagic Design X), SolidWorks și GOM Inspect. În cadrul [figurii 1.22](#) este prezentat ciclul de reconstituire a geometriei piesei tipizate prin intermediul ingineriei inverse.

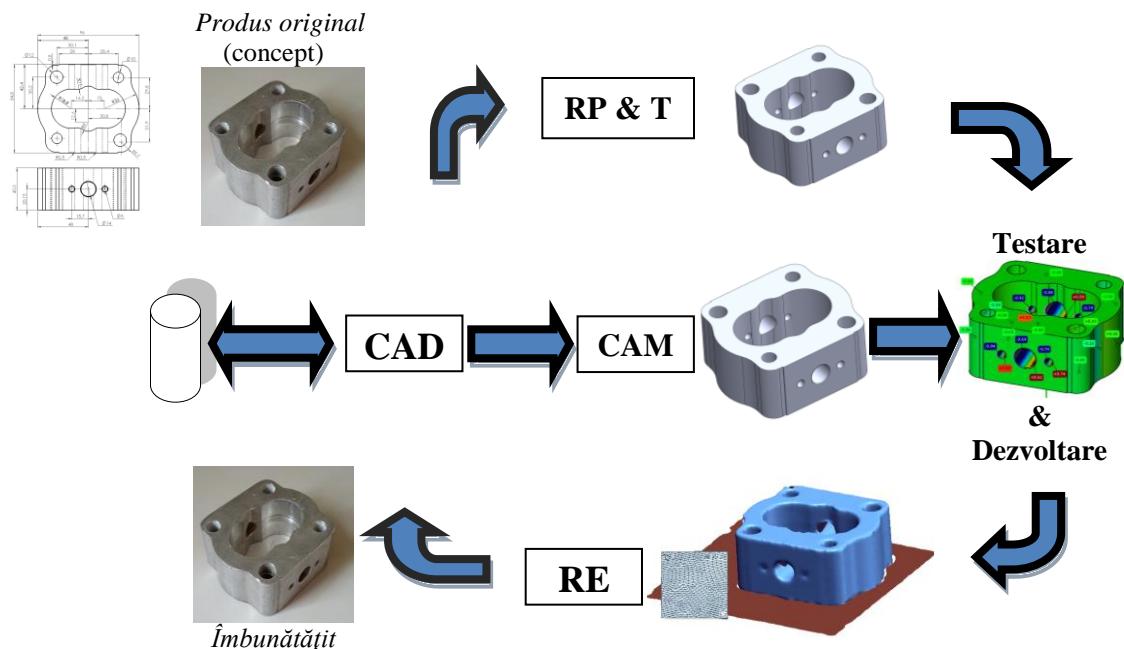


Fig. 1.22 Ciclul dezvoltării unui produs

Exemple de aplicare a ingineriei inverse pentru piese pentru care nu există desene sau modele tridimensionale sunt prezentate în lucrarea [31] prin [figurile 1.23, 1.24, 1.25](#) respectiv [1.26](#).

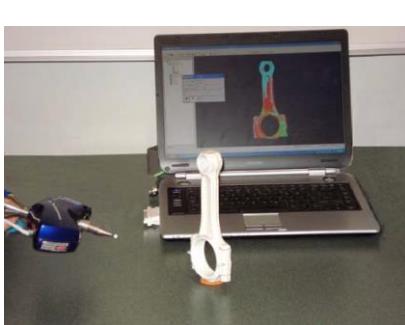


Fig. 1.23 Achiziție date prin scanare 3D

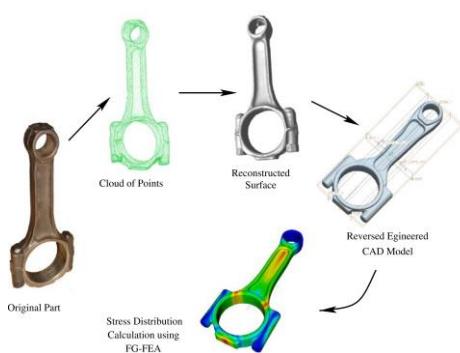


Fig. 1.24 Prelucrare date scanate piesă tip 1 aşa cum a fost construită

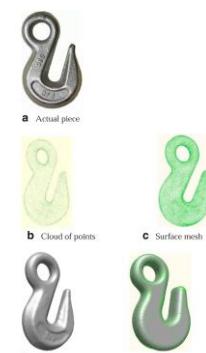


Fig. 1.25 Prelucrare date scanate piesă tip 2 aşa cum a fost construită

Din punct de vedere al controlului calității produsului, în cadrul lucrării [72] este prezentată o tehnică de inginerie inversă prin scanare 3D și prototipare rapidă, scopul fiind de a compara, măsura și analiza datele geometrice pentru produsul prototipat și cel real.



a) *Mediu de scanare 3D*



b) *Dimensiuni model 2 (celular NOKIA 6150) prototipat*



c) *Dimensiuni model 1 prototipat*



Fig. 1.26 Reconstituirea fizică prin scanare 3 D și prototipare pentru un celular și model artă

Compararea dimensiunilor dintre datele rezultate în urma scanării și prototipării cu obiectele reale, sunt prezentate în cadrul [tabelului 1.19](#):

Tabel 1.19 Comparații de erori ale modelului de telefon mobil și ale unui model de artă

A. MODEL 1 TELEFON MOBIL				B. MODEL 2			
	Mărimea reală	Măsurare şubler	Măsurare 3DSRE		Mărimea reală	Măsurare şubler	Măsurare 3DSRE
Lungime	128	+0.60	+0.55	Pătrat Z ₁	19	-0.20	-0.17
Grosime	1.5	+0.30	+0.27	Pătrat Z ₂	19	-0.10	-0.07
Înălțimea ovală	25	+0.60	+0.45	Pătrat Z ₃	19	-0.20	-0.17
Lățimea ovală	38	+0.30	+0.21	Pătrat Z ₄	19	-0.10	-0.10
				Lungime	50	-0.50	-0.35
				Lățime	50	-0.20	-0.18
				Înălțime	50	-0.30	-0.27

Lucrarea [62] propune o parametrizare pe baza de achiziție de puncte, prelucrarea datelor brute, generarea mesh-ului și reconstrucția suprafețelor pentru optimizarea procesului de reconstituire la obiectele scanate. [Figura 1.27](#) prezintă scannerul implicat în mod direct la procesul de achiziție de date. [Tabelul 1.20](#) descrie principalele performanțe pentru acest tip de scanner.

Tabel 1.20 Specificații tehnice scanner corporal 3D



Fig. 1.27 Mediu de lucru corporul VITUS / 3D Smart scanner

Sistem de măsurare	
Principiul de măsurare	Triangularea optică cu banda de lumină laser, sigură pentru ochi
Capete de măsurare	8
Raza de măsurare (volumul eliptic)	Înălțime 20,040 mm Adâncime 800 mm Lățime 1,000 mm
Precizie (Deviația standard față de circumferință de 1.000 mm)	0.1%
Timp de măsurare	de obicei, reglabil 11 s
Puncte de măsurare:	Orizontală 4,858 de puncte Verticală 550 de puncte (11 s) Lățime 2.560.800 de puncte
Formate exportate	Include, ASCII, OBJ, STL (ASCII și binar), TRI, DXF, Openinventor

Un obiect supus digitizării este duza prezentată în [figura 1.28](#), fiind necesară ca funcționalitate pentru reglarea debitului fluidului care ieșe prin aceasta.

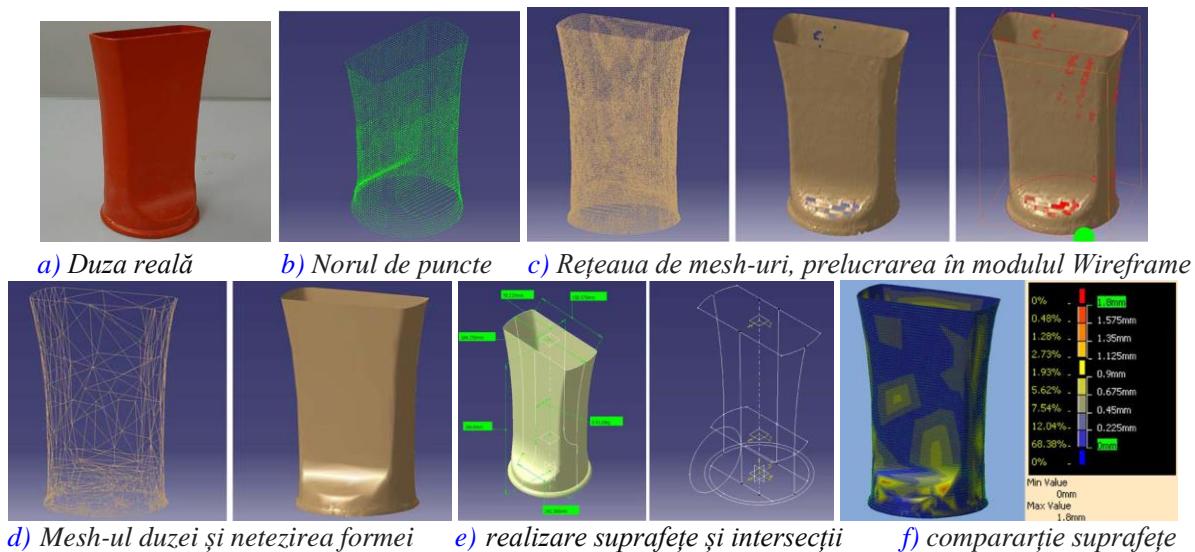


Fig. 1.28 Etape principale de reconstituire după scanare 3D duză reglare debit în CATIA V5

Conform studiului [64] se prezintă o metodă prin care se dorește o simplificare a procesului de planificare și editare a datelor, punctelor, curbelor și intersecțiile cu suprafețele geometrice. Se dezvoltă generarea automată a mesh-ului pentru reconstrucția rapidă a unor suprafețe geometrice complexe. În [figura 1.29](#) sunt prezentate câteva obiecte ergonomice folosite des de majoritatea utilizatorilor. Datele ce au stat la baza reconstrucției acestora sunt completate în [tabelul 1.21](#).

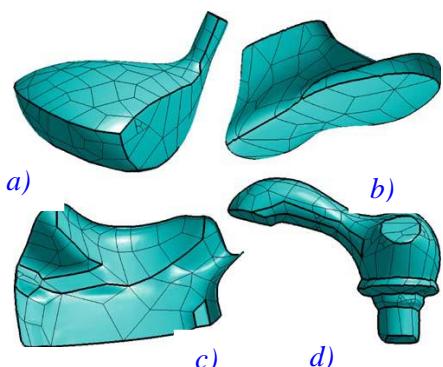
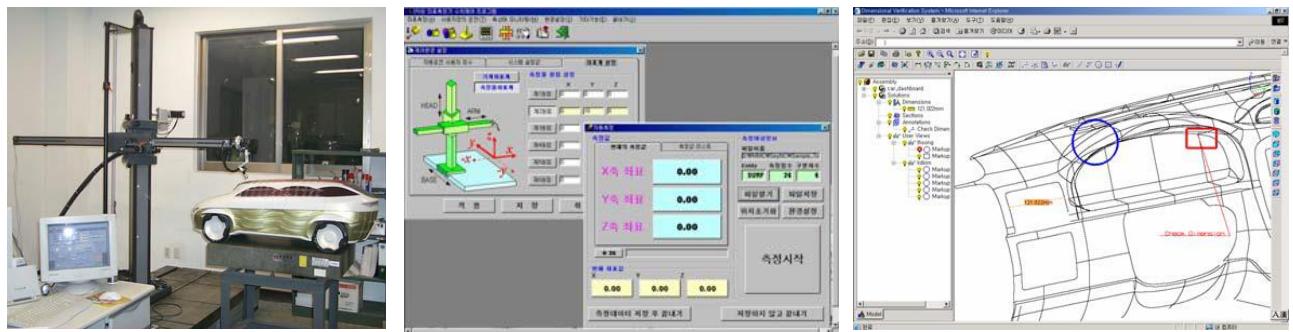


Fig. 1.29 Reconstituire 4 obiecte ergonomicice

Tabel 1.21 Date numerice pentru 4 obiecte ergonomicice

	Cap crosă de golf, a)	Pantof, b)	Tablă c)	Mână d)
Nr. original de mesh-uri	138,967	136,621	116,677	60,798
Nr. original de vârfuri	69,552	68,481	60,161	30,846
Nr. redus de mesh-uri	279	190	134	199
Nr. redus de vârfuri	143	101	89	127
Numărul de suprafețe	147	115	86	133

În lucrarea [61] se dezvoltă un sistem proces care examinează în timp real, formele geometrice ale măsurătorilor, inspectează informații despre dimensiuni și schimburi de opinii cu alți clienți și colaboratori implicați în procesul de proiectare și producție prin intermediul arhitecturii Web sistem, [figura 1.30](#). Scopul final este de verificare dimensională a acurateții proceselor de producție și transmiterea în timp real a informațiilor prin arhitectura Web sistem din [figura 1.31](#), constituită pe baza sistemului prezentat în [tabelul 1.22](#).



a) Plan de lucru și dispozitiv asamblat pentru digitizare 3D

b) Procesarea datelor digitale în timp real

c) Interfață cu utilizatorul pentru verificarea dimensională

Fig. 1.30 Procesul de digitizare, ulterior transmiterea informațiilor pe internet în timp real prin Web sistem

Tabel 1.22 Mediul sistemului server

Element	Caracteristică
Echipamente hardware	
CPU	Intel Pentium 4 3.0
RAM	2 Giga RAM
Aplicație software	
OS	Windows XP Professional
Baza de date	MS-SQL 2000
Web server	IIS 6.0

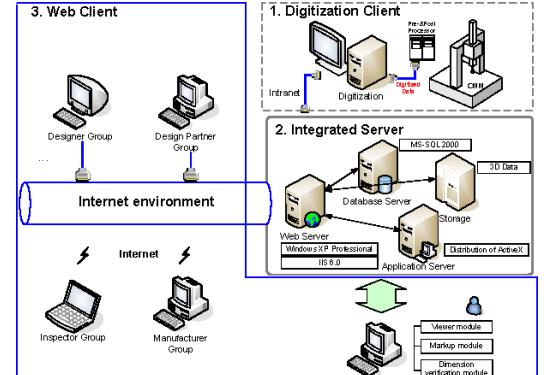


Fig. 1.31 Arhitectura verificării dimensionale bazate pe Web sistem

Pentru domeniul mecanic cu aplicare la reconstituirea componentelor turbinelor industriale se pot enumera o serie de alte lucrări. În cadrul lucrării [44] se reconstituie paleta unei turbine industriale cu gaz pe baza segmentării și aplicării algoritmului de potrivire și fixare pe bază de constrângeri SCFA pentru profilul geometric secționat și reprezentat prin figurile 1.33, 1.34, 1.35, 1.36, 1.37 și 1.38. Se obține astfel geometria paletei din figura 1.32 la o acuratețe deosebită care nu are efecte asupra randamentului și neinfluențându-se astfel performanțele turbinei în funcționare.



Fig. 1.32 Eșantion lamă turbineă pe aer selectată pentru aplicarea SCFA

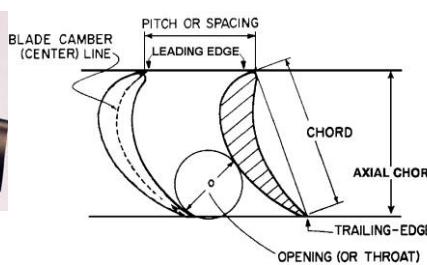


Fig. 1.33 Secțiune profil lamă de turbină pe aer

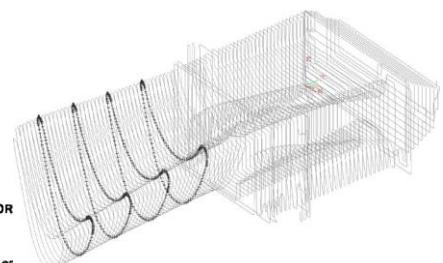


Fig. 1.34 Patru secțiuni pentru comparare geometrie obținută prin RE cu eșantionul prin SCFA

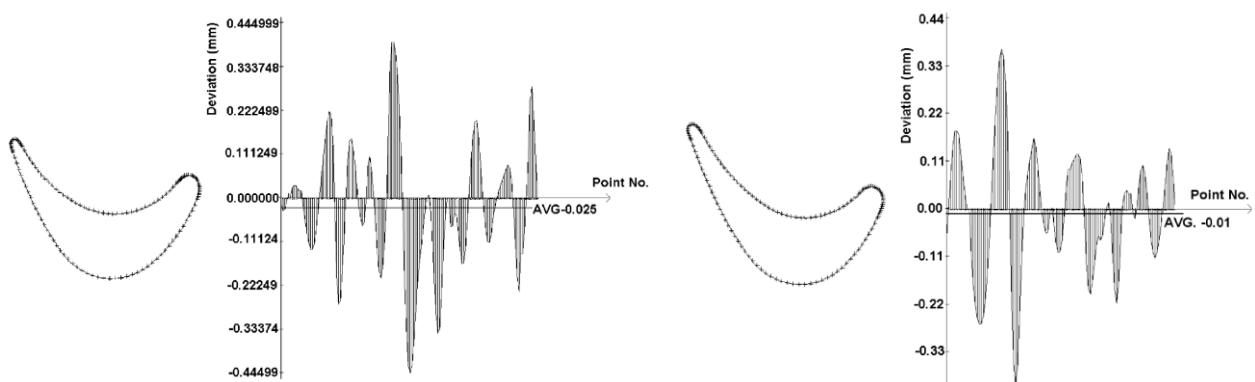


Fig. 1.35 Deviația dintre punctele digitizate și rezultatele SCFA ale secțiunii inferioare (în apropierea platformei cu lama)

Fig. 1.36 Deviația dintre punctele digitizate și rezultatele SCFA din cea de-a doua secțiune (platforma de la lamă mai sus)

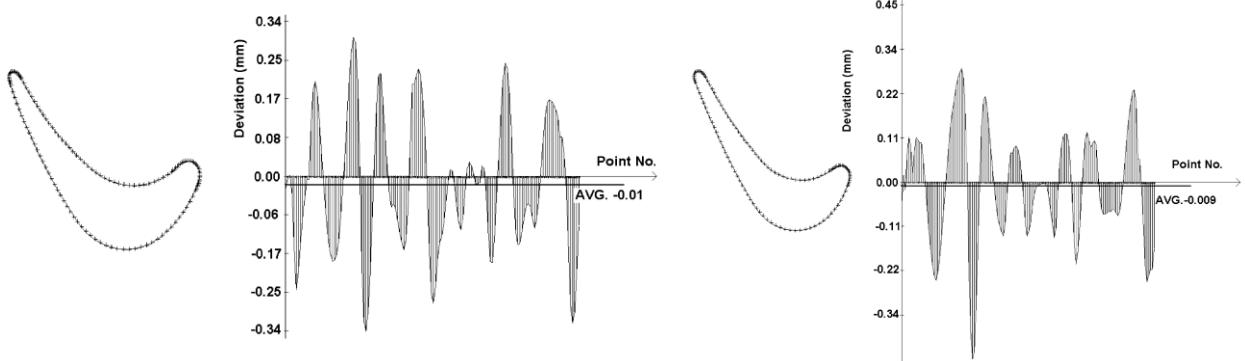


Fig. 1.37 Deviația dintre punctele digitizate și rezultatele SCFA din cea de-a treia secțiune (platforma de blade de mai sus)

Fig. 1.38 Deviația dintre punctele digitizate și rezultatele SCFA ale secțiunii celei mai înalte (în apropierea vârfului lamei)

În lucrarea [36] se reconstituie paleta unei turbine pe aer prin intermediul ingineriei inverse și prin același algoritm SCFA, aplicat pentru 5 secțiuni [figurile 1.39, 1.40 și 1.41](#). În lucrare se parcursă trei etape: distribuția grosimii secțiunilor 2D ale profilului de referință, analiza dimensională, analiza cinematică și simulările mediului de lucru al turbinei. Digitalizarea pieselor s-a făcut folosind scannerul laser ATOS II™ cu specificațiile tehnice din [tabelul 1.23](#).

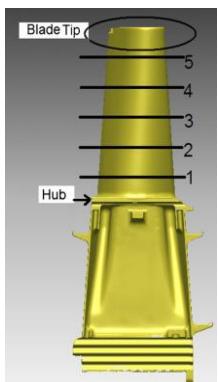


Fig. 1.39 Secțiuni referință

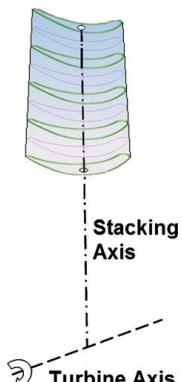


Fig. 1.40 Axa secțiunilor

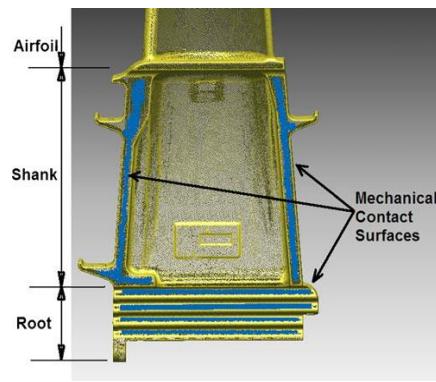


Fig. 1.41 Suprafețe mecanice de contact ale lamei relizate prin RE

Tabel 1.23 Specificații digitalizare

Puncte de măsură	1,300,000 în 7 s
Spațiere punct	0.08 mm
Măsurare zgromot	0.002–0.008 mm
Măsurare precizie	0.010 mm, verificare de 2 ori, scanare precisă

Ingineria inversă are un rol important pentru reconstrucția unei palete de turbină afectată de cavităție [74] și optimizarea procesului de turnare a paletelor, pe baza măsurătorilor de înaltă precizie, figura 1.42, pentru a se putea compara rezultatele obținute în cadrul figurii 1.43. Aceste rezultate pot diminua timpul de proiectare al modelului, cu efecte benefice asupra prețului de cost final.



Fig. 1.42 Măsurarea lamelor de turnat

De regulă pentru paletele turbinelor se recomandă un material din inox inoxidabil de o calitate superioară necesară exploatarii îndelungate și mai ales în condiții extreme de lucru. Condiții de lucru similare sunt impuse și simulate în cadrul lucrării [11], influența coeficientului de frecare și a ratei de uzură fiind descrise în cadrul lucrării [51].

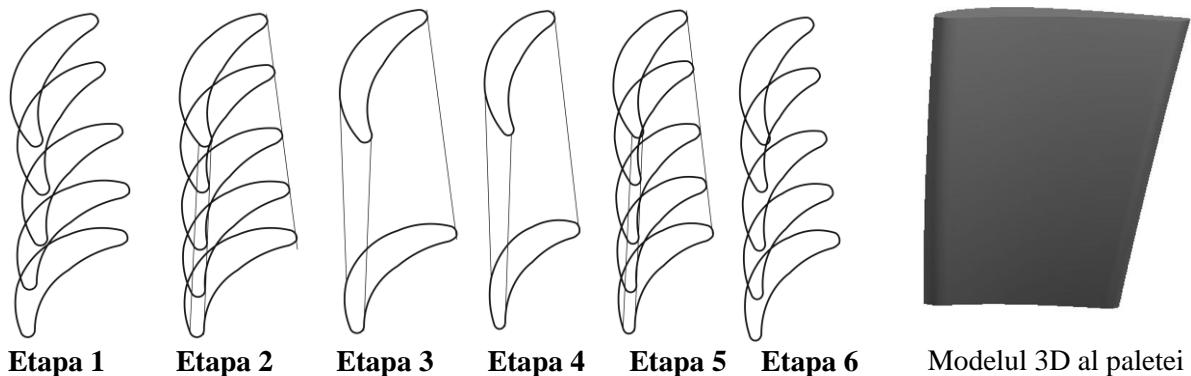


Fig. 1.43 Procesarea datelor măsurate de lame prin turnare

Lucrarea [16] descrie o metodă de reconstrucție prin RE a unor suprafețe complexe pentru două aplicații industriale: mânerul unei uși, figura 1.44 și o paletă pentru o turbină, figura 1.45.

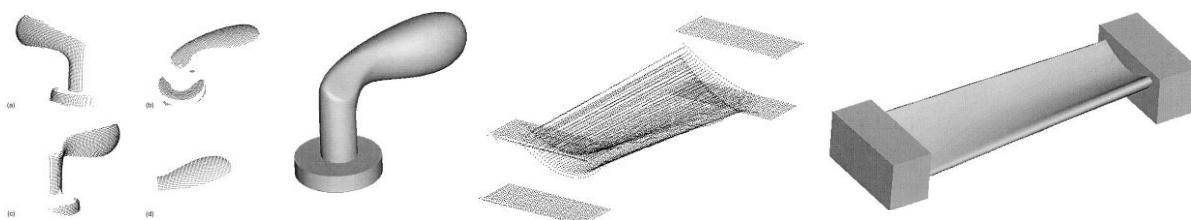


Fig. 1.44 Reconstituire mâner ușă

Fig. 1.45 Reconstituire paletă turbină

În cadrul lucrării [32] sunt prezentate componentele mecanice care formează traseul hidraulic al unei turbine Francis reconstituite prin scanare cu ajutorul tehnologiei de digitizare 3D, prezentate în [figura 1.46](#).

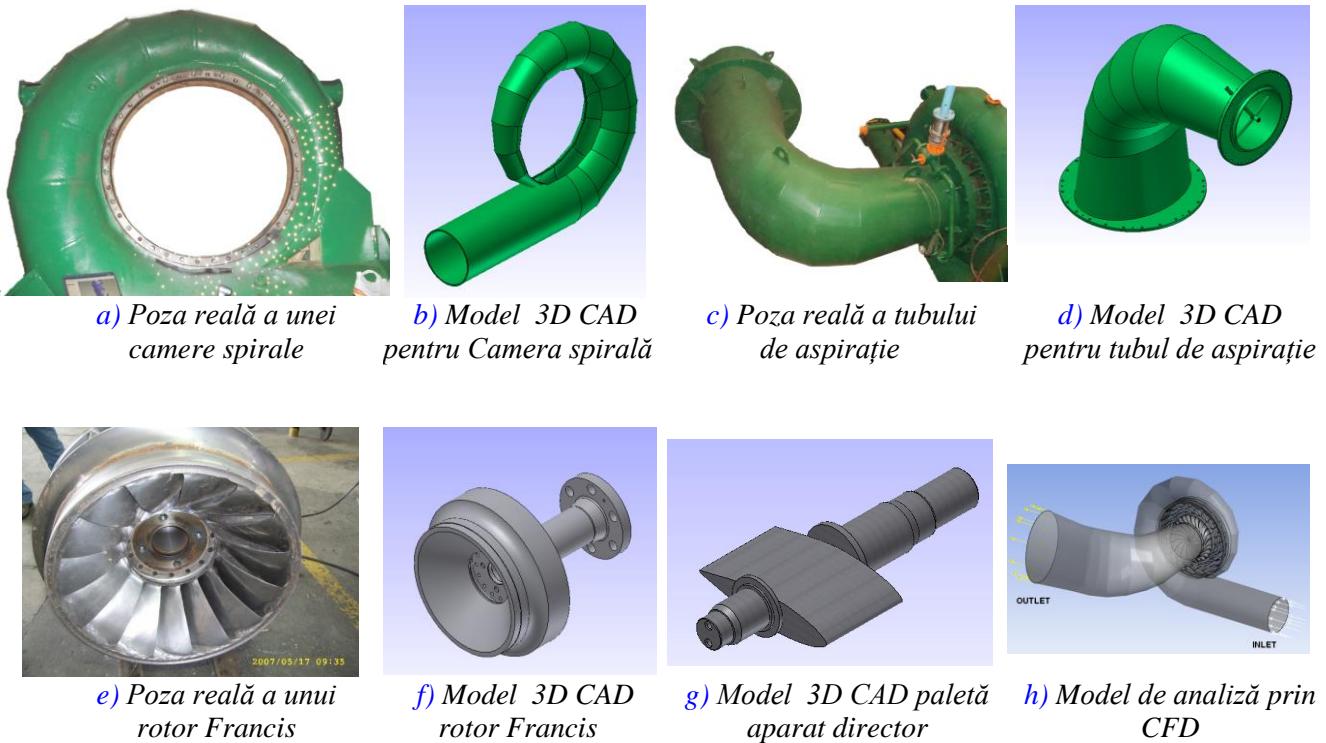


Fig. 1.46 Reconstituire geometrie componente traseu hidraulic turbină tip Francis prin RE

Tehnicile de scanare utilizate în cadrul ingineriei inverse s-au dezvoltat continuu, atât cele prin scanare 3D cât și prin fotogrametrie. Lucrarea [56] propune implementarea și compararea performanțelor pentru două sisteme diferite de scanare, la costuri reduse și rezultate similare. Aceste soluții de scanare sunt aplicate la reconstituirea de replici digitale pentru anumite piese mecanice. În [figura 1.47](#) este prezentat un motor Diesel cu o dimensiune reală de 1050x1295x760 mm, reconstituit 3D prin fotogrametrie pe baza a 487 de imagini unice și 158 de blocuri de placare volumetrică.

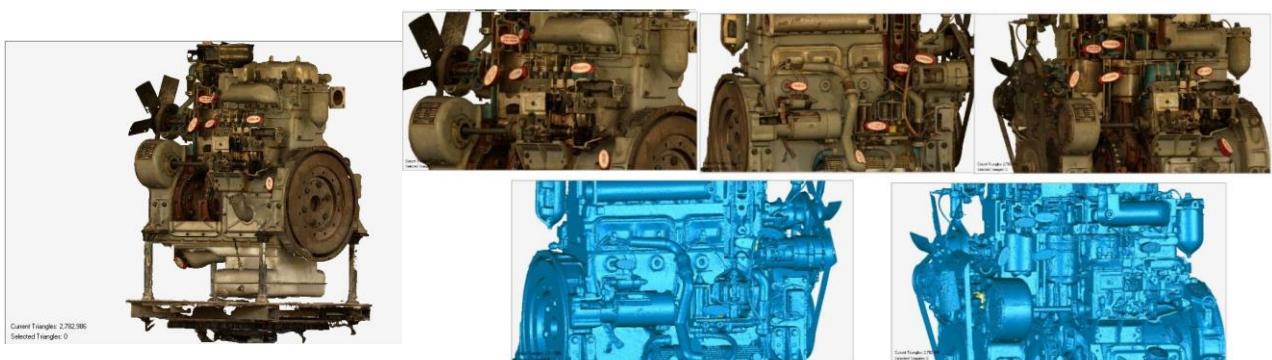
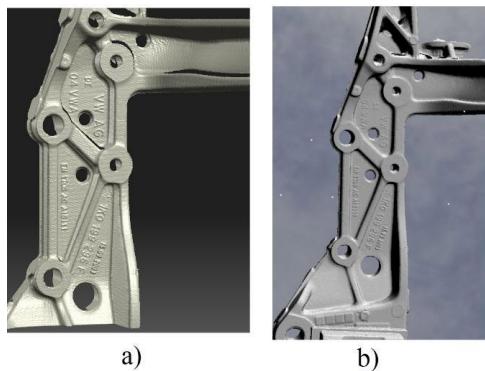


Fig. 1.47 Modelul 3D al motorului Diesel

Figura 1.48 prezintă rezultatele comparației prin imagini a tehnicii de scanare 3D cu cea de fotogrametrie, aplicată componentei mecanice.



- a) Scanare unică cu sistem de scanare cu structură luminoasă
- b) reconstrucție 3D cu fotografii

1.48 Comparare scanare 3D cu fotogrametrie

Lucrările [33], [40], [42] și [59] compară rezultate obținute prin aplicarea tehnologiei de scanare laser respectiv tehnologia de fotogrametrie, comparări realizate pe aceleași elemente mecanice. Rezultatele obținute au valori relativ apropiate din punct de vedere al preciziei, dar costurile diferă semnificativ.

1.5 Contribuții

Prezentul capitol definește conceptul de inginerie inversă și investighează literatura de specialitate prin diverse exemple referitoare la acest domeniu. Se descriu scanere moderne și extrem de avansate cu și fără contact prin detalierea parametriilor tehniți și funcționali ai acestora. Pe bază de comparare și în funcție de criteriile de evaluare a performanțelor se poate alege scannerul adecvat domeniului de aplicare. Sunt menționate aplicațiile specifice prelucrării datelor achiziționate prin scanare 3D sau fotogrametrie și sunt redate cerințele hardware impuse și necesare utilizării acestora în concordanță cu specificațiile tehnice ale producătorilor.

Sunt evidențiate diverse metode și tehnici moderne de reconstituire pe bază de algoritmi care au la bază optimizarea și simplificarea procesului de lucru cu posibilitatea transmiterii în timp real a informațiilor prin arhitectura Web sistem. Este analizată pe bază de comparare, calitatea datelor obținute pe baza unor criterii de similitudine între modelul obținut și cel de referință.

Pe baza cercetărilor realizate și exemplificate în majoritatea domeniilor de activitate sunt prezentate rezultate de referință în domeniile: biomecanică și ortopedie, medicina crano-maxillo-facială, patrimoniu cultural respectiv domeniul mecanic, prin reconstituirea integrală a unor geometrii complexe.

În urma studierii literaturii de specialitate a rezultat necesitatea elaborării și dezvoltării unei metodologii specifice de reconstituire a geometriilor complexe pe baza scanării, aplicabilă în domeniul mecanic și verificarea acesteia pe componente profilate ale turbinelor hidraulice.

Cap. 2 OBIECTIVELE TEZEI DE DOCTORAT

Obiectivul general al prezentei lucrări este conceperea și eleborarea unei metodologii de reconstituire a geometriilor complexe și aplicarea acesteia în domeniul mecanic, cu scopul reconstituirii geometriei unor palete de turbine hidraulice prototip și model de tip axial, Francis și Pelton.

Obiective specifice propuse spre a fi realizate în prezenta teză de doctorat sunt următoarele:

- Realizarea unei sinteze bibliografice privind stadiul actual al cercetărilor în domeniul ingineriei inverse;
- Conceperea unei metodologii de reconstituire a geometriilor complexe;
- Conceperea unei metode de calcul de netezire a profilelor rezultate din scanare;
- Conceperea unei metode de calcul a parametrilor geometrici ai profilelor paletelor axiale;
- Aplicarea metodologiei pentru reconstituirea geometriei unei palete axiale (Kaplan) prototip prin inginerie inversă și compararea cu geometria paletei din proiect;
- Aplicarea metodologiei pentru reconstituirea geometriei unui rotor de tip Francis prototip;
- Aplicarea metodologiei pentru reconstituirea geometriei unei palete de tip axial model respectiv a unei cupe Pelton, compararea triangularizării norului de puncte rezultat prin fotogrametrie cu paleta reconstituită în *SolidWorks* respectiv cu norul de puncte rezultat prin scanare laser, compararea paletei reconstituite în *SolidWorks* cu măsurători efectuate pe paleta reală;
- Diseminarea rezultatelor.

Cap. 3 METODOLOGIA DE RECONSTITUIRE A GEOMETRIILOR COMPLEXE

3.1 Metodologia de reconstituire a geometriilor complexe

Tabelul 3.1 prezintă etapele unei metodologii specifice de reconstituire a geometriilor complexe, pe baza scanării geometriei pentru obținerea norului dens de puncte prin două tehnologii: scanare utilizând un scanner 3D (**etapa Ia**) sau prin fotogrametrie utilizând un aparat foto digital (**etapa Ib**). Oricare din cele două tehnologii generează un nor dens de puncte achiziționate de pe suprafața obiectului, în continuare metodologia parcurge etapele **II ÷ X**. Metodologia face apel la următoarele programe specializate: Agisoft Photoscan, Geomagic Design X, SolidWorks, GOM Inspect.

Tabel 3.1 Metodologia de reconstituire a geometriilor complexe

Nr. crt.	Etapa	Descrierea etapei
I.	Ia. SCANARE 3D a geometriei	Ib. Generarea norului de puncte dens prin FOTOGRAFIE, figura 3.1. II.1. Pregătirea spațiului de lucru și a geometriei Condițiile care trebuie asigurate pentru creșterea preciziei sunt prezentate în & 3.3: asigurarea unui spațiu de lucru cu lumină difuză în jurul obiectului, acoperirea suprafețelor lucioase cu spray developant, asigurarea posibilității de manipulare a obiectului cu macara pentru dimensiuni mai mari ale acestuia. Lumina creată artificial trebuie să aibă aceeași intensitate și să acopere uniform toată circumferința obiectului pe 360°. Pentru a crea lumina artificială se recomandă poziționarea reflectorului de iluminat din 45° în 45°, figura 3.2 [1]. II.2. Achiziția fotografiilor Achiziția fotografiilor trebuie realizată cu un aparat foto de calitate; scenariile de fotografiere incorecte/corecte pentru diferite situații (fațadă, interior, obiect izolat) sunt exemplificate în figurile 3.3, 3.4 și 3.5 [49] se recomandă realizarea mai multor fotografii, iar succesiunea acestora trebuie să acopere toată suprafața obiectului scanat. II.3. Importul fotografiilor În programul specializat Agisoft Photoscan; inspecția imaginilor și eliminarea celor care nu sunt corespunzătoare din punct de vedere calitativ, criteriul de eliminare fiind valoarea factorului de calitate (<i>Quality</i>), a cărei valoare trebuie să fie peste 0.5. II.4. Alinierea fotografiilor și generarea norului de puncte rar (sparse cloud) În această etapă programul Agisoft Photoscan identifică poziția și orientarea camerei corespunzătoare fiecărei fotografii și generează un nor de puncte inițial rar, calculat

Tabel 3.1 Metodologia de reconstituire a geometriilor complexe

Nr. crt.	Etapa	Descrierea etapei
		<p>pe baza identificării punctelor corespondente dintre diferitele fotografii.</p> <p>II.5. Generarea norului de puncte dens (dense cloud) Pe baza pozițiilor camerei determinate anterior, programul Agisoft Photoscan extrage informațiile de adâncime pentru fiecare fotografie, care se vor finaliza prin construirea unui nor de puncte dens.</p> <p>II.6. Scalarea norului de puncte dens la valorile reale Scalarea geometriei la valorile reale, pe baza unei distanțe cunoscute din dimensiunile obiectului real, din markeri plasați în zona fotografiată sau dintr-o riglă gradată, în programul Agisoft Photoscan.</p>
II.	Eliminarea punctelor eronate	În programul Agisoft Photoscan din norul dens de puncte pot fi eliminate punctele calculate eronat.
III.	Exportul norului de puncte dens	Exportul norului de puncte dens în Geomagic Design X
IV.	Comparația triangularizării norului de puncte cu paleta reconstituită	Triangularizarea norului de puncte se realizează în programul Geomagic Design X, iar comparația se realizează în programul GOM Inspect.
V.	Generarea profilelor	Profilele se generează în programul Geomagic Design X prin intersecția norului de puncte dens cu plane plasate la distanțe impuse.
VI.	Exportul profilelor în SolidWorks	Profilele de intersecție ale paletei cu plane se vor exporta în SolidWorks.
VII.	Netezirea frontierei profilelor	Profilele de intersecție pot avea o frontieră ușor neregulată datorită erorilor de execuție și reconstituire a punctelor. Aceasta este o problemă comună a scanerelor, care poate genera erori în zonele cu luminozitate mai redusă, cum ar fi racordări, teșturi, găuri, filete sau bordul de atac al paletei. Din acest motiv se impune netezirea frontierei profilelor, conform unei metodologii dezvoltate în cadrul tezei.
VIII.	Construirea modelului 3D a geometriei	Geometria în format solid se creează pe baza comenziilor de modelare tridimensională din programul SolidWorks.
IX.	Comparația modelului 3D ale geometriei reconstituite cu geometria teoretică sau masurată	Comparația se realizează în programul GOM Inspect, rezultând deviațiile între cele două geometrii.
X.	Realizarea desenelor de execuție	Desenele de execuție se vor realiza în programul SolidWorks, modulul Drawing.

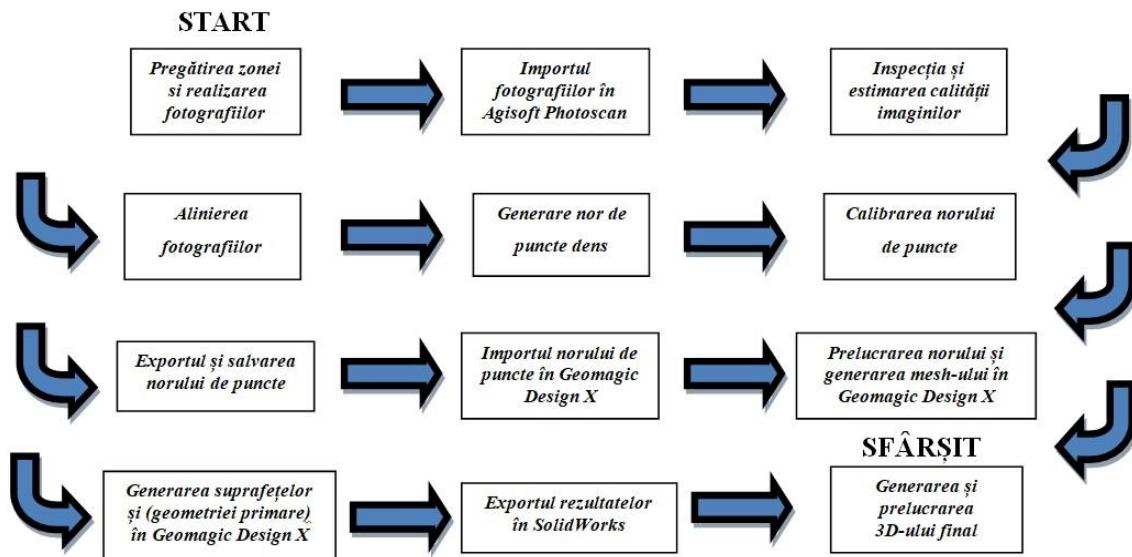


Fig.3.1 Etapele fotogrametriei

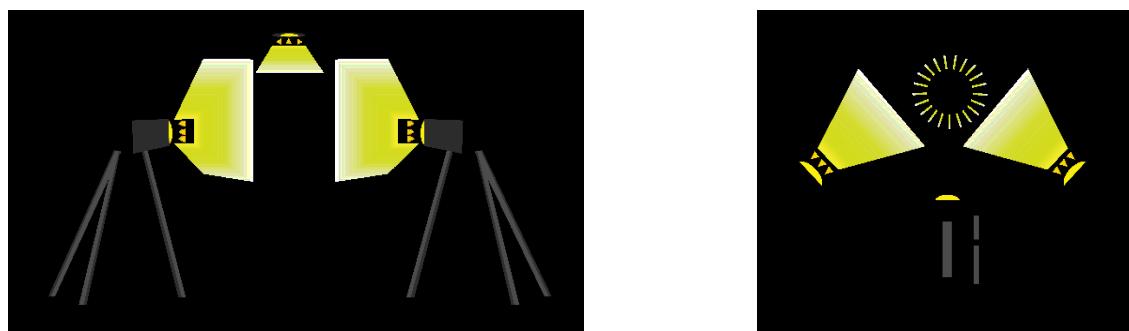


Fig. 3.2 Poziționarea reflectoarelor pentru a crea lumina artificială

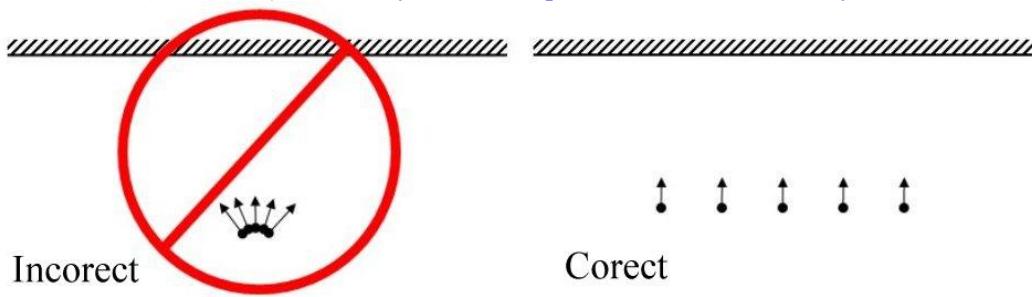


Fig.3.3 Scenariu de fotografiere incorrect/corect pentru fațadă

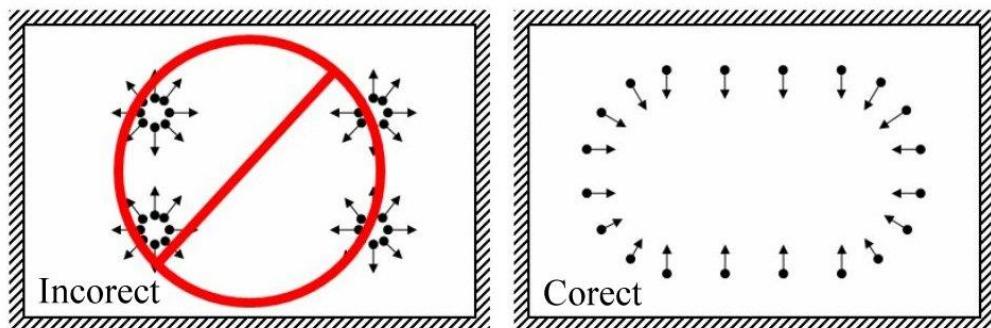


Fig. 3.4 Scenariu de fotografiere incorrect/corect pentru interior

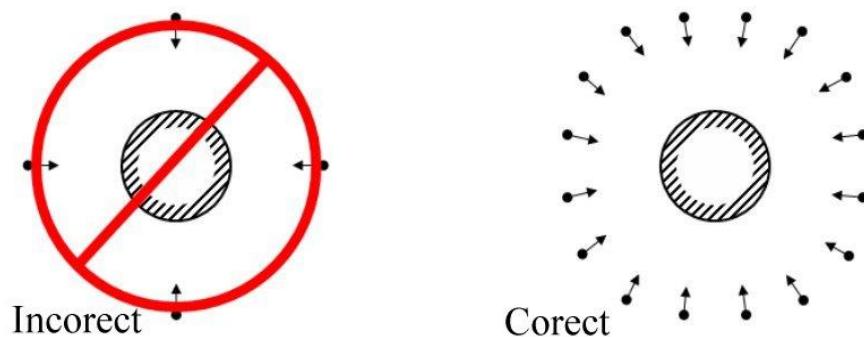


Fig. 3.5 Scenariu de fotografiere incorrect/corect pentru obiect izolat

3.2 Principii ale fotogrametriei

Denumirea „Photogrammetry” derivă din următoarele trei cuvinte grecești: Photos – lumină; Gramma – literă sau ceva inscripționabil; Metrein – a măsura [49]. Fotogrametria utilizează achiziția de fotografii multiple, preluate din diverse poziții unghiulare pe toată circumferința și pe diverse înălțimi, pentru a putea reconstitui modelul tridimensional 3D a obiectului scanat. Poziția camerei în spațiul tridimensional asociază coordonatele X, Y și Z pentru fiecare pixel din cadrul pozelor realizate. Acuratețea reconstituirii pe baza de imagini depinde de mai mulți factori și se recomandă asigurarea unui cerințe minimale care se impun înaintea realizării etapei de fotografiere. Un factor important este ca lumina să fie distribuită uniform pe toată suprafața obiectului ce va fi fotografiat. Pentru suprafețele lucioase este necesar ca acestea să fie mate și să nu reflecte lumina înaintea realizării fotografierii. Asigurarea suprafeței mate se poate realiza înainte de fotografiere prin pulverizarea pe toată suprafața obiectului a unui spray developant prezentat în figura 3.6 [88].



a) Paleta axială acoperită cu spray developant



b) Spray developant

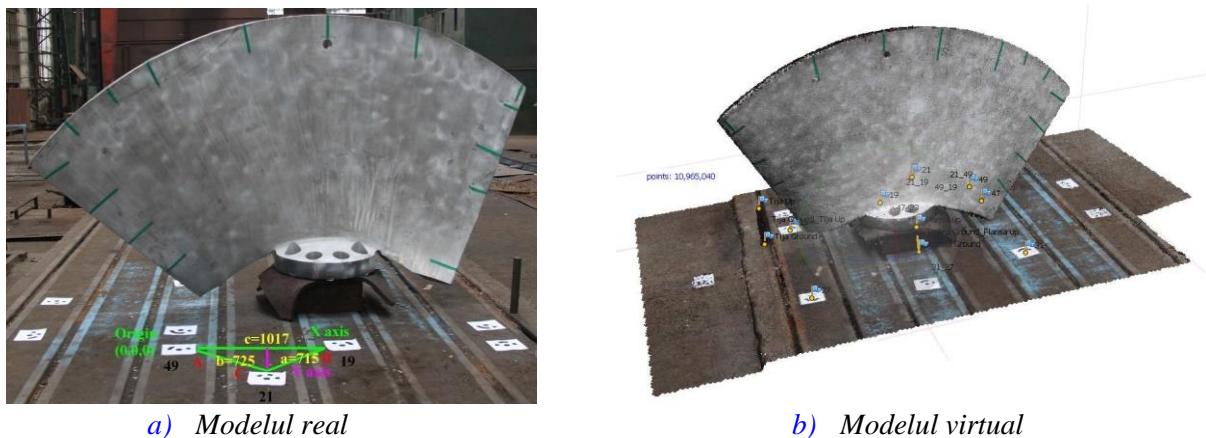
Fig. 3.6 Asigurarea suprafeței mate prin pulverizare spray developant

Pentru asocierea dimensiunii reale a obiectului și transpunerea scalării corecte pe modelul virtual este necesară plasarea în zona fotografică a unor rîgle gradate sau markeri, figura 3.7 [22].



Fig. 3.7 Tipuri de rigle gradate și markeri

Identificarea poziției și scalarea după dimensiunile gmetrice reale se poate realiza pe baza asocierii distanței dintre markerii poziționați pe modelul real. Poziția acestor markeri pentru modelul virtual va fi generată printr-o corelare cu modelul real conform cu [figura 3.8](#), în situația în care se dorește plasarea mai multor markeri sau verificarea poziției acestora se utilizează comanda **Create Scale Bar** redată în [figura 3.9 \[22\]](#).



a) Modelul real

b) Modelul virtual

Fig. 3.8 Plasarea și identificarea markerilor pe modelul real și cel virtual

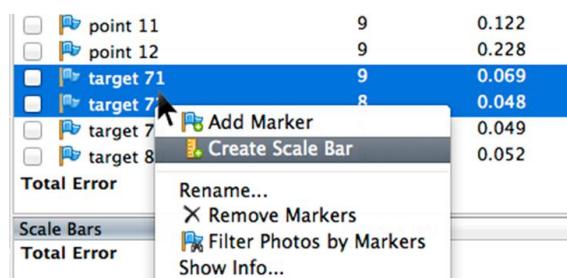


Fig. 3.9 Scalarea punctelor scanate

Fotogrametria necesită utilizarea mai multor fotografii, deoarece dintr-o singură fotografie nu se pot extrage decât coordonate bidimensionale X, Y. Însă, din mai multe fotografii, luate pentru același obiect, dar din diferite poziții, se poate extrage a treia coordonată Z. În concluzie, condiția care se impune este ca fiecare punct al obiectului să fie vizibil în cel puțin două fotografii. Cunoscând toți

parametrii geometrici care localizează pozițiile din care au fost luate fotografiile și parametrii camerei foto, se pot calcula coordonatele tridimensionale ale punctelor, aflate la intersecția a cel puțin două direcții de privire. Astfel, din fotografii se extrag informații ale punctelor, pe baza cărora se pot reconstitui linii, distanțe, arii și volume spațiale, [figura 3.10 \[49\]](#).

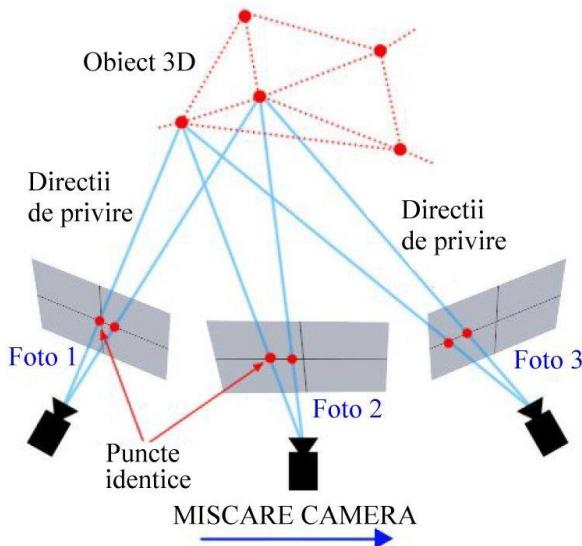


Fig.3.10 Principiul utilizat în fotogrammetrie

3.3 Cerințe impuse etapei de fotografiere

Pentru creșterea preciziei informațiilor extrase și acuratețea rezultatelor numerice se impun următoarele recomandări [\[49\]](#):

- ✓ utilizarea unui aparat foto de mare rezoluție ($5\div 8$ Mpixels sau mai mult);
- ✓ evitarea lentilelor ultra-largi; cea mai bună alegere sunt lentile cu lungime focală de 50 mm;
- ✓ utilizarea lentilelor fixe, fără utilizarea efectului de zoom;
- ✓ utilizarea datelor de tip RAW convertite cu pierderi minime în format TIFF; se poate utiliza și formatul JPG, dar aceste introduce în imagine prin compresie zgomote nedorite;
- ✓ preluarea imaginilor la rezoluție maximă posibilă;
- ✓ utilizarea unei valori ISO minime, deoarece valori superioare pot induce zgomote în imagine; în fotografie numărul ISO este un indicator al sensibilității senzorului (un număr mai mare înseamnă sensibilitate mai mare, valori uzuale fiind între $100\div 1600$);
- ✓ valoarea aperturii trebuie să fie suficient de mare pentru a obține o adâncime focală suficientă; este importantă capturarea de fotografii clare, fără zgomot; apertura se referă la dimensiunea orificiului prin care lumina ajunge la senzor;
- ✓ viteza de fotografiere trebuie să nu fie prea redusă, pentru a evita zgomote generate datorită mișcărilor;

- ✓ evitarea obiectelor fără textură sau cu textură uniformă, foarte luminoase sau întunecate, simetrice, transparente (inclusiv apa), reflective sau perfect plane;
- ✓ evitarea apariției obiectelor mișcătoare în scena fotografiată;
- ✓ evitarea prelucrării imagini (redimensionare, crop, scalare, rotire, etc.);
- ✓ achiziționarea un număr marit de imagini, pentru a reduce posibilitatea de apariție a unor zone invizibile ale obiectului; se pot reconstrui numai geometrii preluate din cel puțin două direcții de privire;
- ✓ perechile de imagini preluate trebuie să conțină zone de suprapunere comune în proporție de cca. 80%;
- ✓ obiectul de interes trebuie să ocupe în imagine aria maximă; dacă totuși condiția nu se poate îndeplini, zonele lipsă trebuie să apară în alte imagini;
- ✓ o bună iluminare a obiectului pentru a asigura calitatea rezultatelor, dar nu se vor pune surse de lumină în direcția de privire a camerei și nu se vor utiliza flash-ul și stabilizarea imaginii.

3.4 Concluzii

În acest capitol s-a elaborat și dezvoltat o metodologie originală de reconstituire a geometriilor complexe pe baza scanării, aplicabilă în domeniul mecanic, utilizând scanere 3D sau tehnica de fotogrametrie. Metoda include algoritmi matematici pentru calculul parametrilor geometrici și pentru netezirea frontierei profilelor rezultate din scanare. Această metodă va fi aplicată în cadrul tezei la reconstituirea unor componente profilate ale turbinelor hidraulice. Pentru verificarea metodei, geometriile obținute prin aplicarea acesteia vor fi comparate cu desene de referință sau cu măsurători punctuale obținute prin palparea suprafețelor.

Cap. 4 APLICAȚII DE RECONSTITUIRE A GEOMETRIEI PALETELOR KAPLAN INDUSTRIALE

4.1 Reconstituirea paletei

4.1.1 Introducere

În prezentul subcapitol se va reconstitui geometria unei palete de tip Kaplan al unui rotor de diametru $D_1 = 5400$ mm și se va compara cu geometria paletei de referință din proiectul de execuție, figura 4.1, în vederea determinării abaterilor între acestea. Lucrări cu teme similare sunt prezentate în [12], [50], [52]. Geometria paletei executate va fi reconstituită în următoarele etape:

- scanare prin fotogrametrie, prin intermediul aplicației Agisoft Photoscan;
- reconstituire geometrie prin intermediul aplicațiilor Geomagic Design X și SolidWorks.

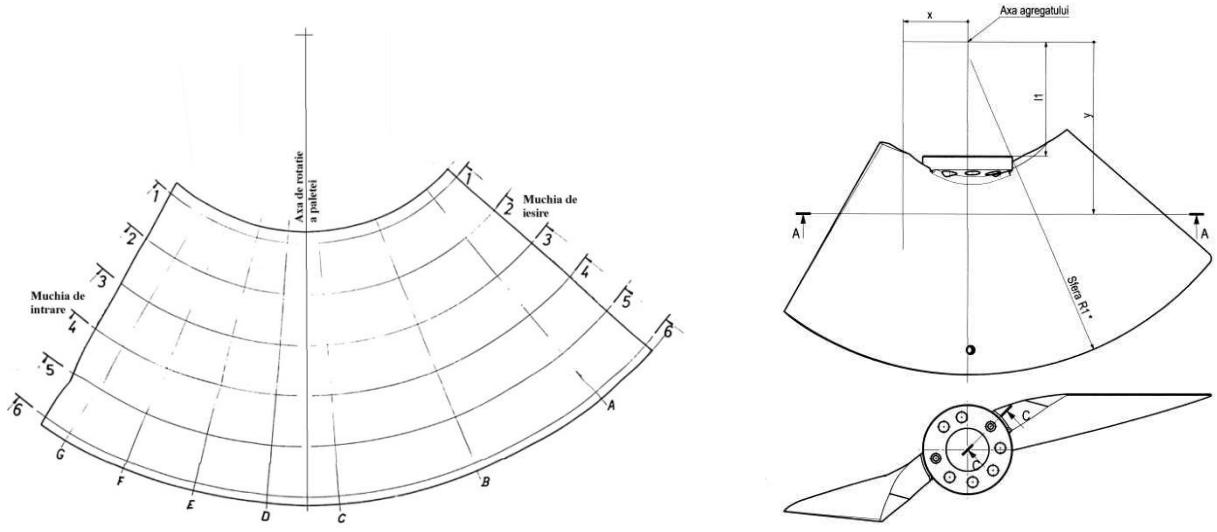


Fig. 4.1 Geometria paletei de referință

4.1.2 Scanare prin fotogrametrie a paletei Kaplan

Etapele de scanare a unui corp în aplicația Agisoft Photoscan sunt următoarele [2], [3]:

- achiziția imaginilor fotografice cu un aparat foto de calitate; paleta Kaplan a fost fotografiată prin intermediul unei camere foto CANON EOS 500D, generându-se 43 de capturi imagine din diferite unghiuri, care acoperă 360 de grade, figura 4.2; fotografieră s-a executat de pe platformă pe care a fost plasată paleta, distanța medie față de obiect fiind de cca. 4,5 m. Camera a utilizat lentile fixate la 28 mm distanță focală, valoarea ISO medie a pozelor a fost 400 la timp de expunere 1/30; în spațiul de fotografiere au fost plasați markeri, cu distanțe măsurate pentru realizarea scalării corecte a norului de puncte respectiv a paletei;

- importul fotografilor în programul Agisoft Photoscan, figura 4.3;

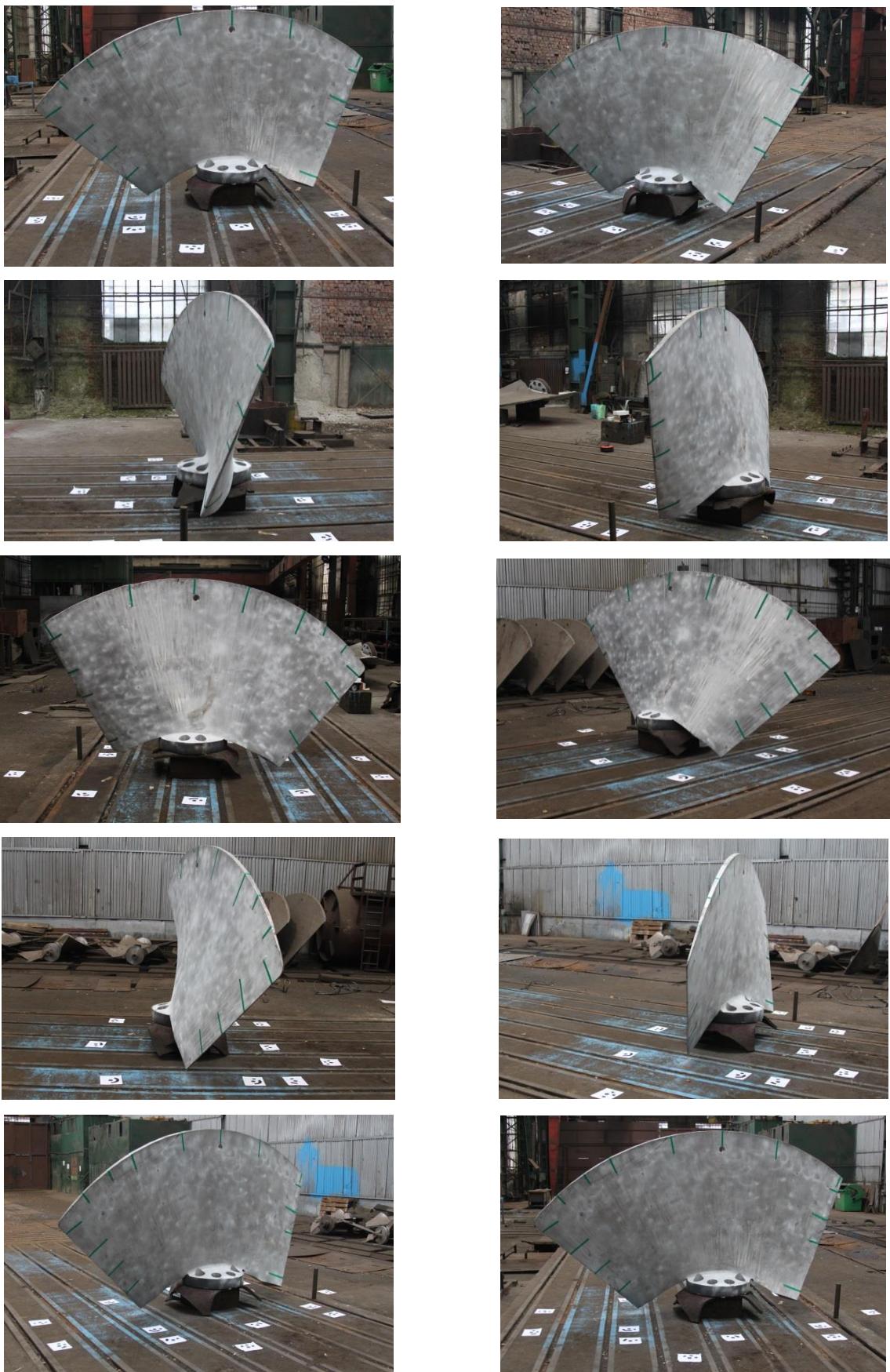


Fig. 4.2 Succesiune de capturi imagine ale paletei

- inspecția imaginilor și eliminarea celor care nu sunt necesare; estimarea calității imaginilor este o etapă necesară pentru a elimina imaginile neclare, criteriul de eliminare fiind valoarea factorului de calitate (*Quality*), a cărei valoare trebuie să fie peste 0.5, [figura 4.4](#), însă precizia crește dacă valoarea acestui factor de calitate este mai mare de 0.7.

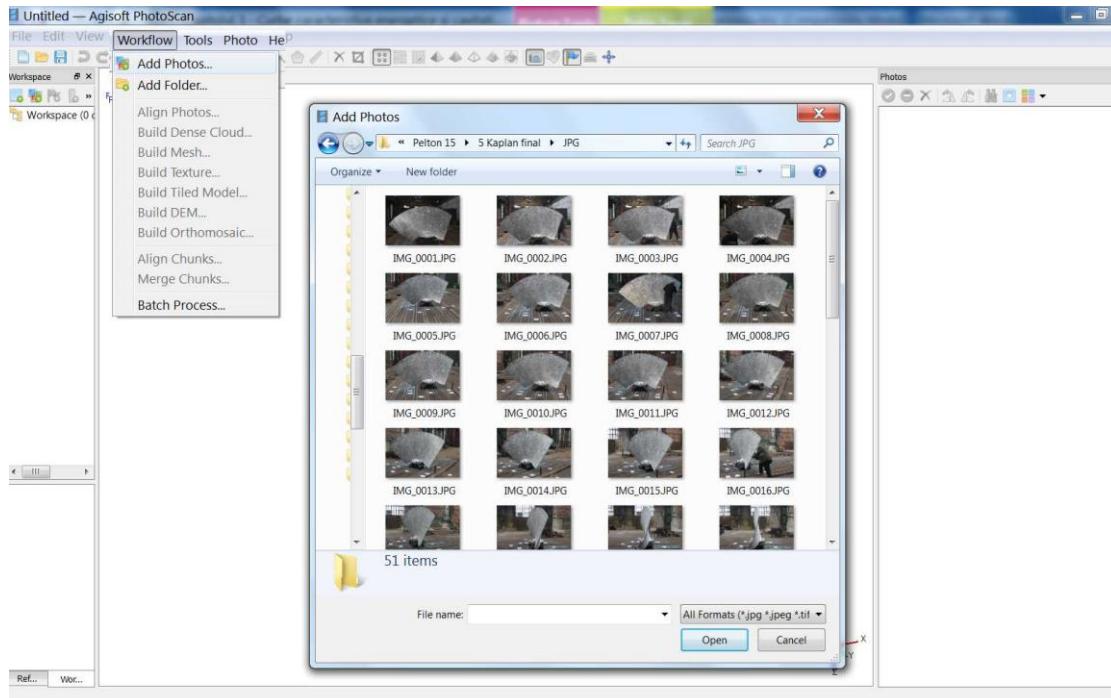


Fig. 4.3 Inserarea imaginilor în programul Agisoft Photoscan

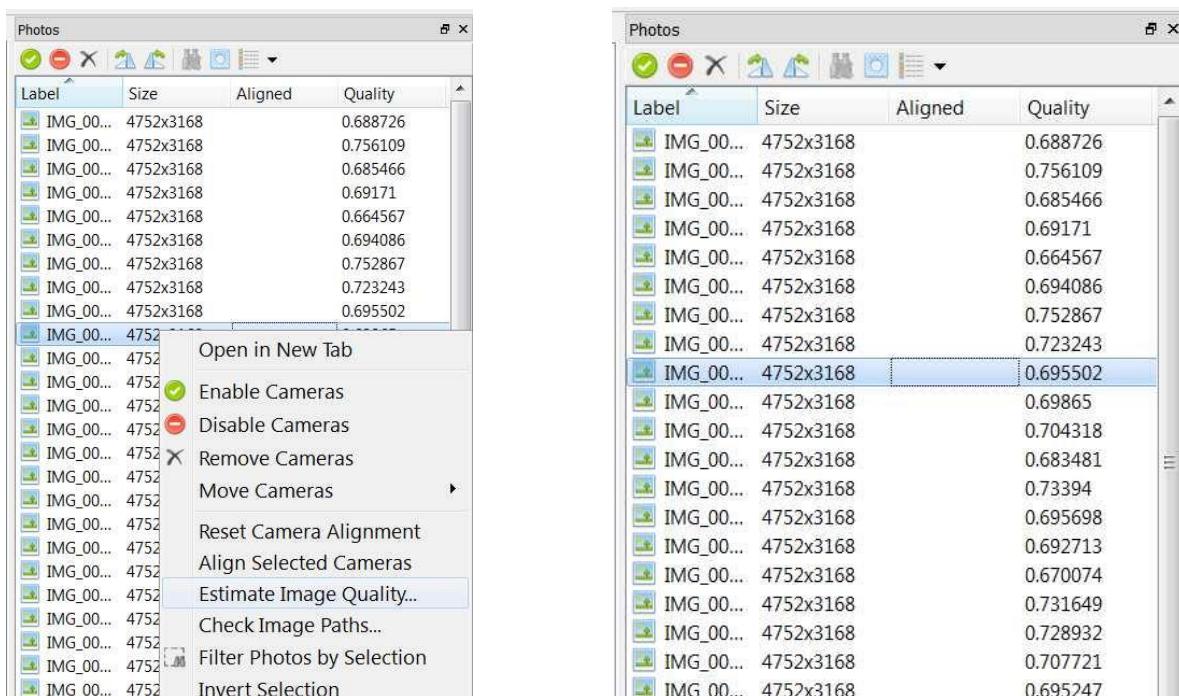


Fig. 4.4 Estimare calității imaginilor în programul Agisoft Photoscan

- alinierea fotografiilor; în această etapă programul identifică poziția și orientarea camerei corespunzătoare fiecărei fotografii și generează un nor de puncte inițial rar (*sparse cloud*), calculat pe baza identificării punctelor corespondente dintre diferitele fotografii, figura 4.5 și 4.6;

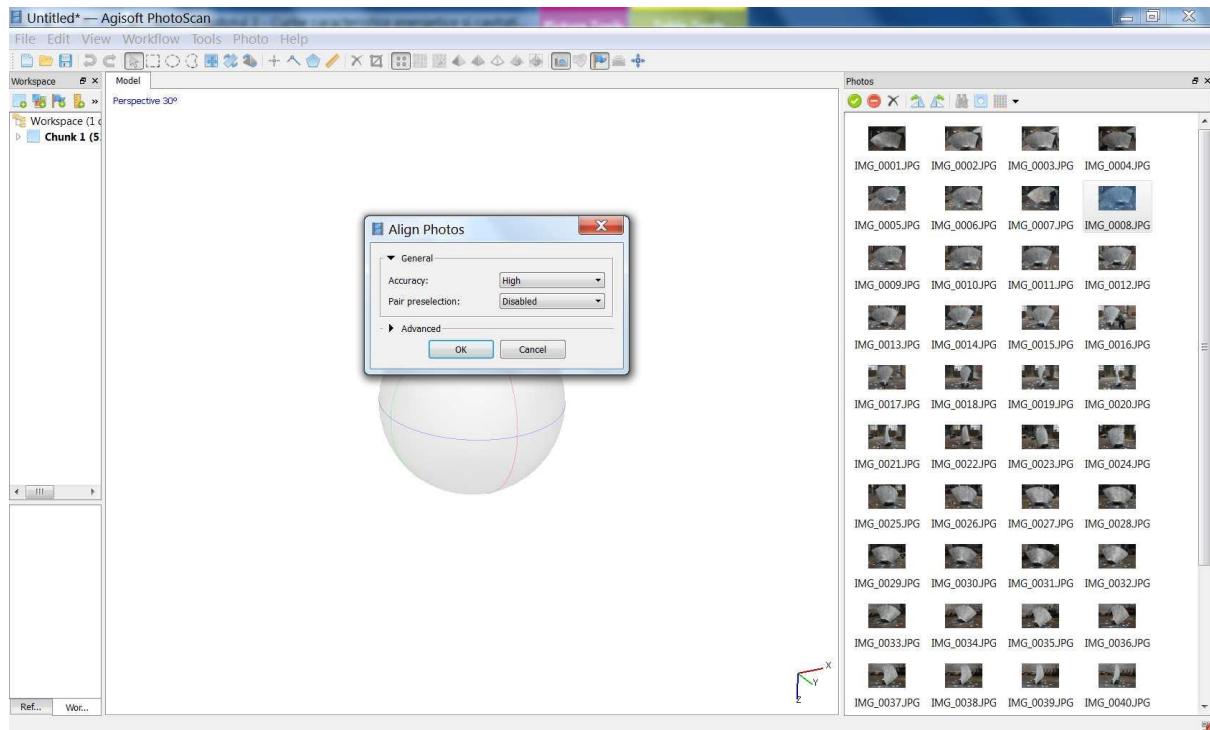


Fig. 4.5 Alinierea imaginilor în programul Agisoft Photoscan

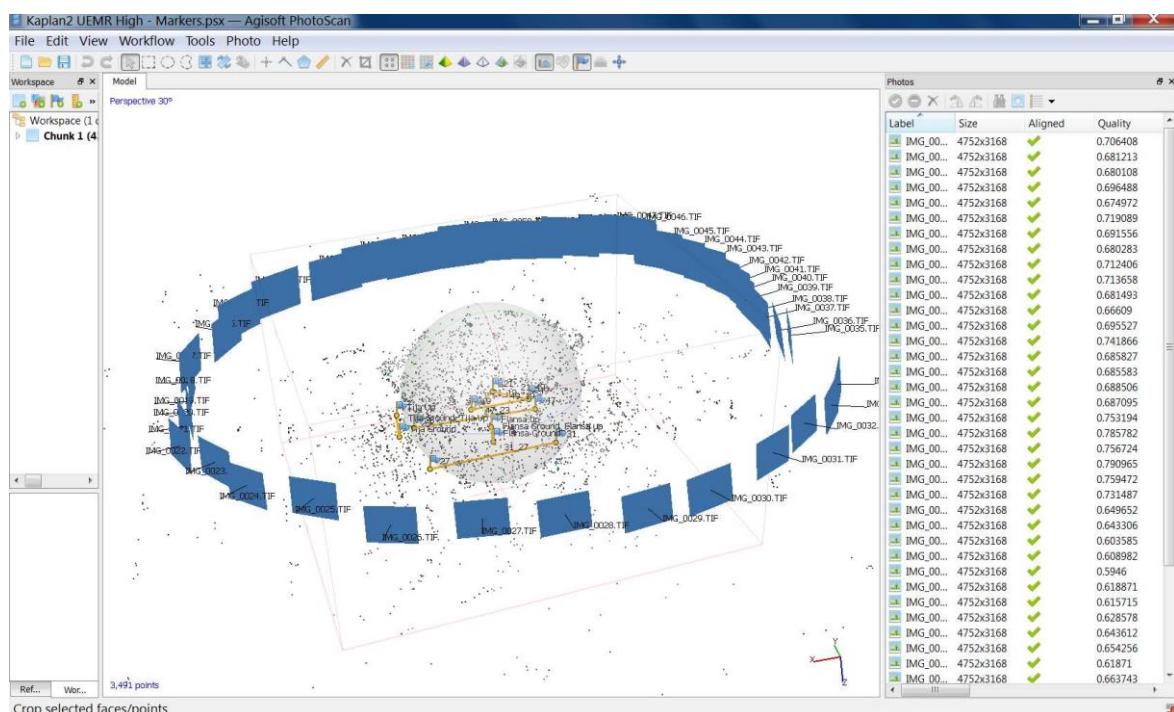


Fig. 4.6 Imagini aliniate în programul Agisoft Photoscan și generare nor rar de 3491 puncte

În această fază de aliniere, programul încearcă să identifice puncte comune între perechi de imagini, facând toate combinațiile posibile de perechi între acestea. Numărul maxim de puncte de identificat în fiecare imagine se poate specifica, valoarea implicită fiind 40000. Pe baza punctelor identificate corect, programul recalculează parametrii de calibrare ai camerei foto și identifică poziția spațială a acesteia în raport cu obiectul fotografiat, [figura 4.6](#), iar în final realizează alinierea imaginilor.

De exemplu, în [figura 4.7](#) se prezintă corespondența punctelor dintre imaginea „img_0008.tif” și „img_0013.tif”, pentru care, din totalul de 438 puncte, 217 sunt valide (marcate cu linii albastre) și 221 sunt invalide (marcate cu linii roșii), iar în [figura 4.8](#) se prezintă corespondența punctelor dintre aceeași imagine „img_0008.tif” și „img_0041.tif”, pentru care, din totalul de 36 puncte, 8 sunt valide (marcate cu linii albastre) și 28 sunt invalide (marcate cu linii roșii).

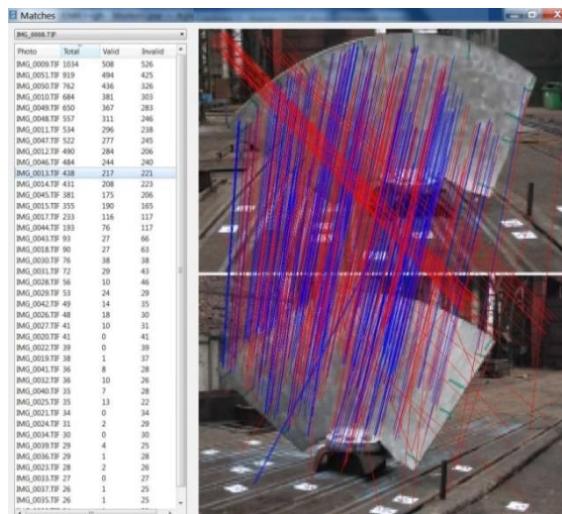


Fig. 4.7 Corespondența puncte dintre imaginea „img_0008.tif” și „img_0013.tif”

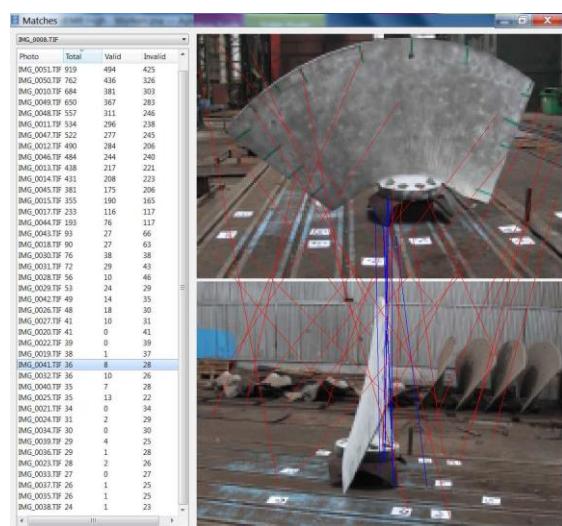


Fig. 4.8 Corespondența puncte dintre imaginea „img_0008.tif” și „img_0041.tif”

- generarea norului de puncte dens (*dense cloud*); pe baza pozițiilor camerei determinate anterior, programul extrage informațiile de adâncime pentru fiecare fotografie, care se vor finaliza

prin construirea unui nor de puncte dens, [figura 4.9](#) și [4.10](#); din acest nor pot fi eliminate punctele calculate eronat; de asemenea, acesta poate fi exportat pentru prelucrări ulterioare cu alte programe; pentru această variantă de paletă au fost generate 10.965.040 puncte.

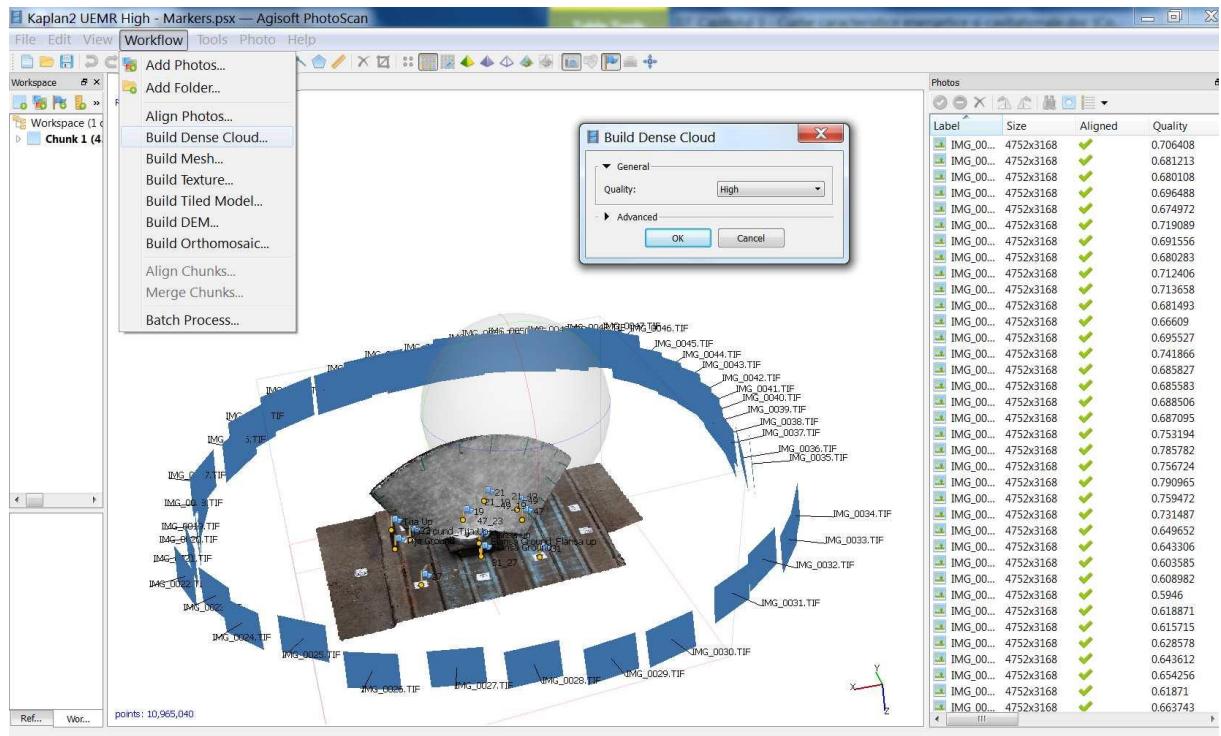


Fig. 4.9 Generare nor dens de puncte în programul Agisoft Photoscan

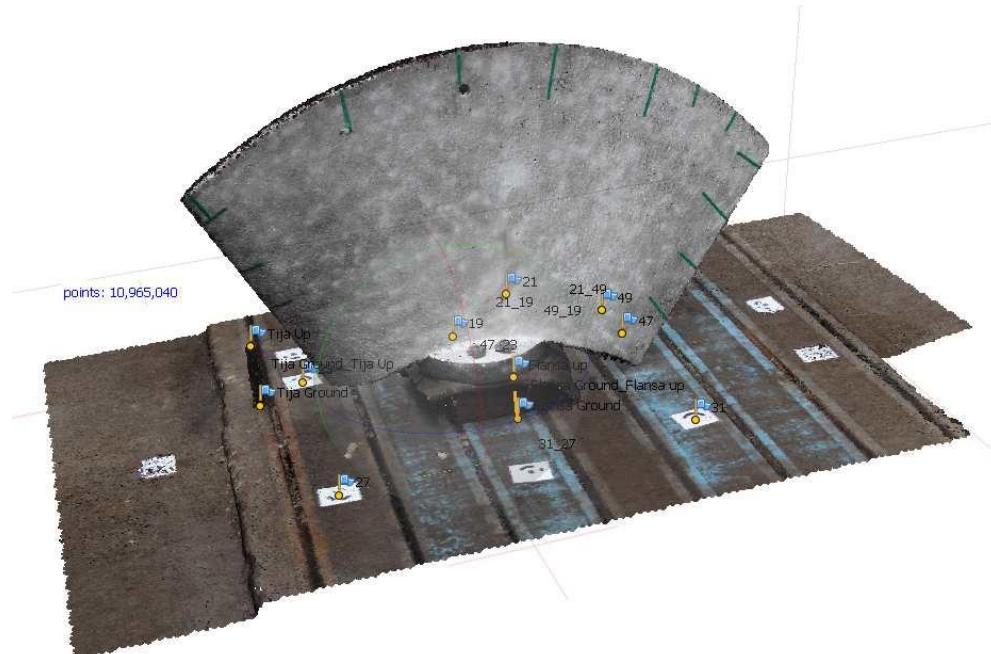
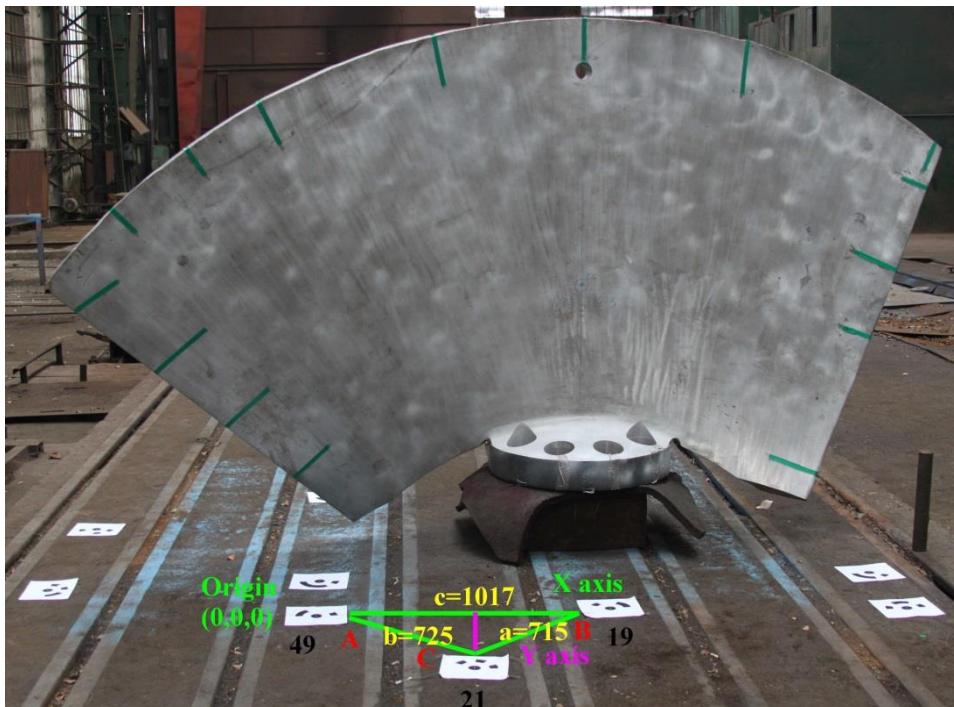


Fig. 4.10 Nor dens de 10965040 puncte în programul Agisoft Photoscan

- calibrarea norului de puncte, adică scalarea geometriei la valorile reale, pe baza unei distanțe cunoscute din dimensiunile obiectului real, din markeri plasați în zona fotografiată sau dintr-o riglă gradată; această scalare poate fi efectuată în orice moment după etapa de import a fișierelor în programul specializat de prelucrare, dar în mod uzual se realizează după etapa generării norului dens, [figura 4.11](#).
- exportul norului de puncte.

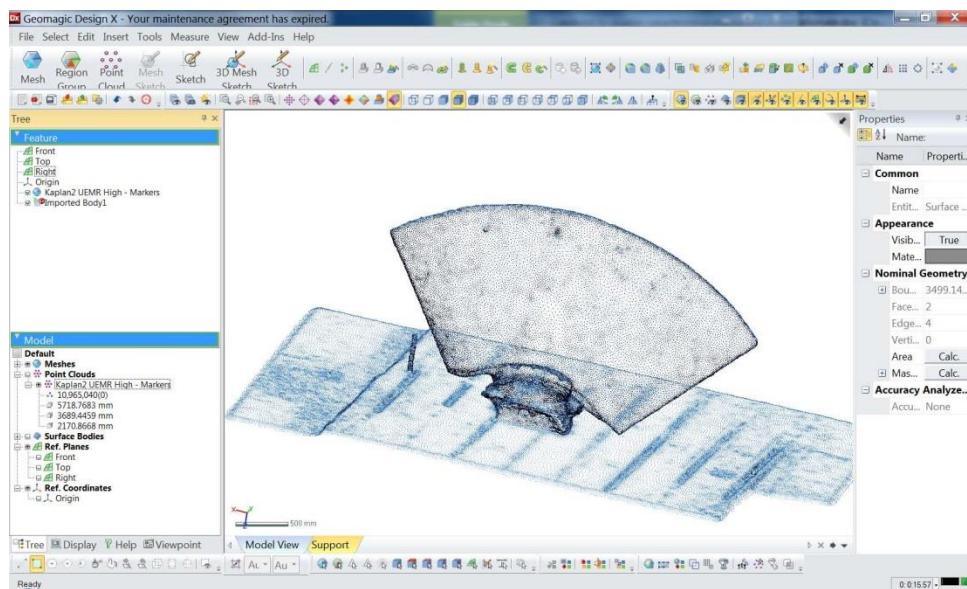


*Fig. 4.11
Calibrarea
norului de puncte
în programul
Agisoft
Photoscan*

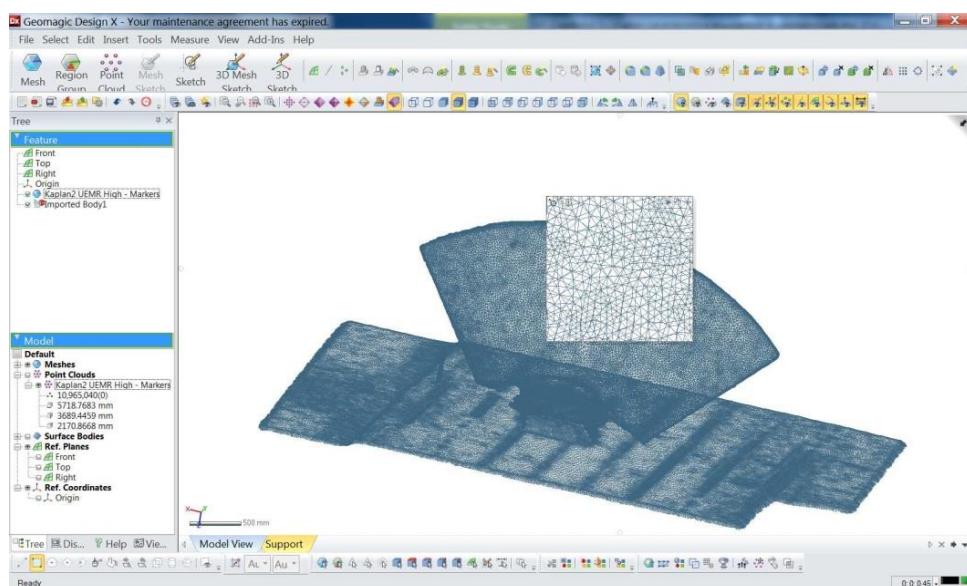
4.1.3 Reconstituirea geometriei paletei Kaplan industriale

Scopul acestei etape este de a genera geometria paletei în format solid. Etapele de reconstituire a geometriei paletei sunt următoarele:

- importul norului dens de puncte (10.965.040 puncte) în programul Geomagic Design X, [figura 4.12](#);
- triangularizarea norului de puncte; în această etapă programul generează o rețea de triunghiuri similară cu discretizarea din analiza cu elemente finite; pentru paleta varianta 1 s-au generat 241577 triunghiuri, [figura 4.13](#);
- generarea suprafețelor paletei respectiv a cilindrului fusului în programul Geomagic Design X, [figura 4.14](#);
- generarea profilelor rezultate din intersecția paletei cu cilindrii de rază impusă, în programul Geomagic Design X, [figura 4.15](#);
- generarea geometriei solide a paletei în programul SolidWorks, [figura 4.16](#).



*Fig. 4.12
Importarea norului de puncte în programul Geomagic Design X*



*Fig. 4.13
Triangularizare a norului de puncte în programul Geomagic Design X*



*Fig. 4.14
Generarea suprafețelor în programul Geomagic Design X*

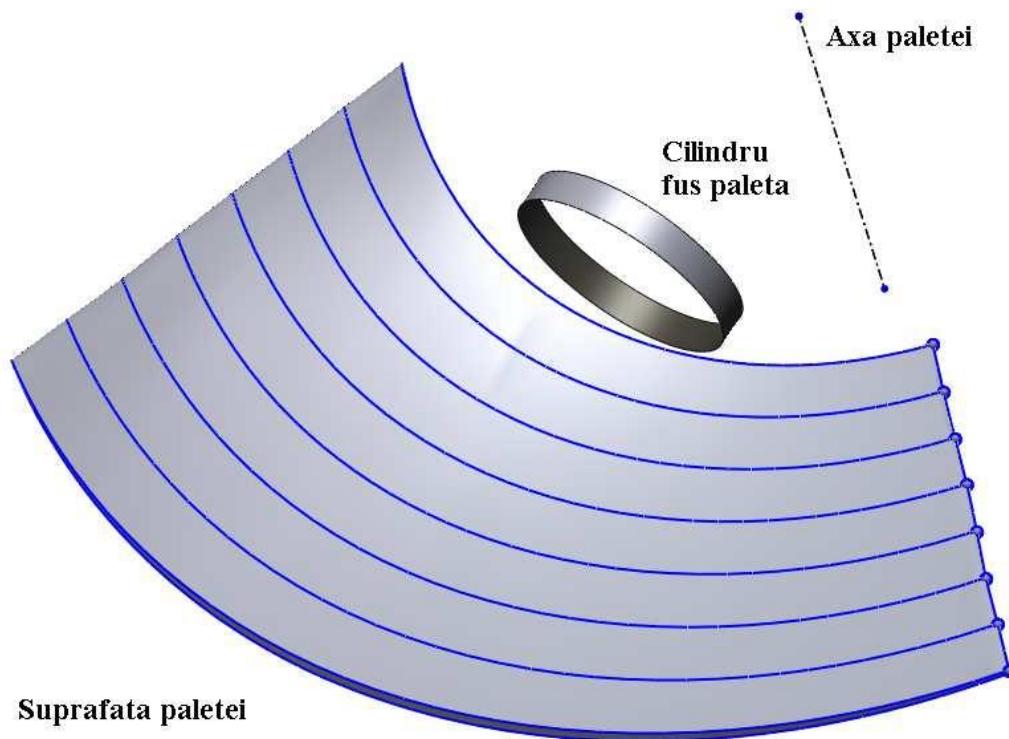


Fig. 4.15 Generarea profilelor pe cilindrii în programul Geomagic Design X

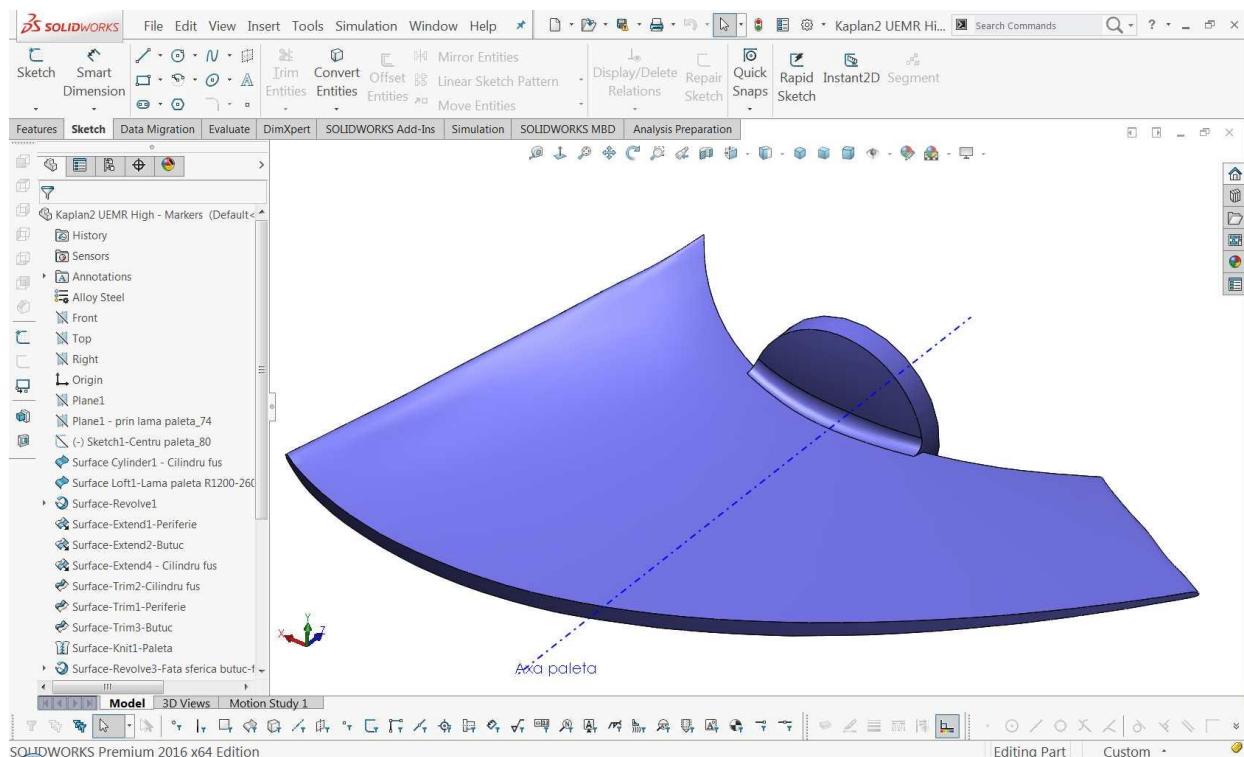


Fig. 4.16 Generarea geometriei solide a paletei în programul SolidWorks

4.1.4 Comparația geometriei paletei de referință cu geometria paletei reconstituite

Conform codului CEI [17] profilele unei palete trebuie măsurate în cel puțin trei secțiuni de-a lungul întregului profil (generat prin intersecția paletei cu secțiuni cilindrice sau plane), pe extradosul și intradosul paletei sau aleatoriu pe întreaga suprafață a paletei, [figura 4.17](#).

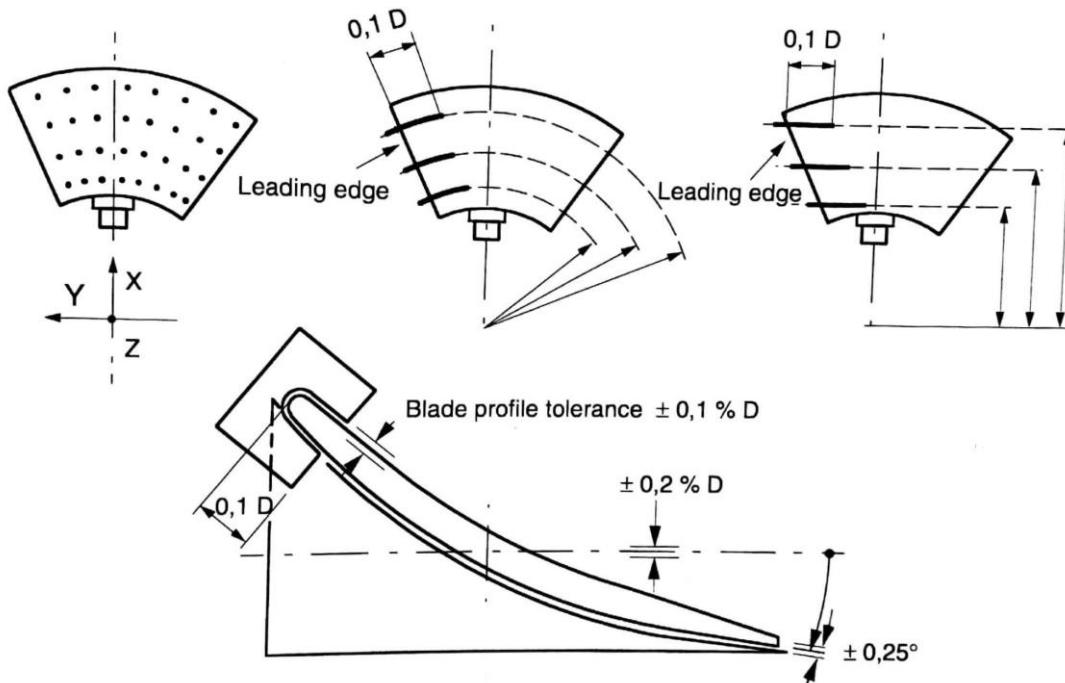


Fig. 4.17 Măsurarea unei palete conform codului CEI [17]

Modelul 3D al paletei de referință, [figura 4.18](#) a fost comparat pentru 6 profile (generate prin intersecția paletei cu secțiuni plane), cu profilele corespunzătoare ale paletei reconstituite, [figura 4.19](#), pentru a determina abaterile dintre acestea. Abaterile la profil au fost determinate considerând paleta teoretică ca și paletă de referință, față de care s-au determinat diferențele geometrice. Abaterea la profilul paletei admisă conform codului CEI [17] a fost de $\pm 0.1\%D = \pm 0.1\% \times 5400 \text{ mm} = \pm 5.4 \text{ mm}$.

Cele două geometrii au fost importate în aplicația GOM Inspect; paletele s-au aliniat pe baza unui algoritm intern al aplicației (*automatic best-fit alignment*), astfel încât geometria paletei reconstituite se suprapune cu abateri minime față de geometria paletei de referință.

Pe baza acestui aliniament au fost efectuate următoarele comparații:

- comparația la nivel de suprafete, [figura 4.20](#), figură din care rezultă că abaterile înregistrate pe suprafața paletei se încadrează în limitele abaterii admise, majoritatea fiind sub 6 mm, numai două puncte înregistrând valori mai mari, respectiv +6,69 și +9,79 la butuc și +8,99 la periferie;

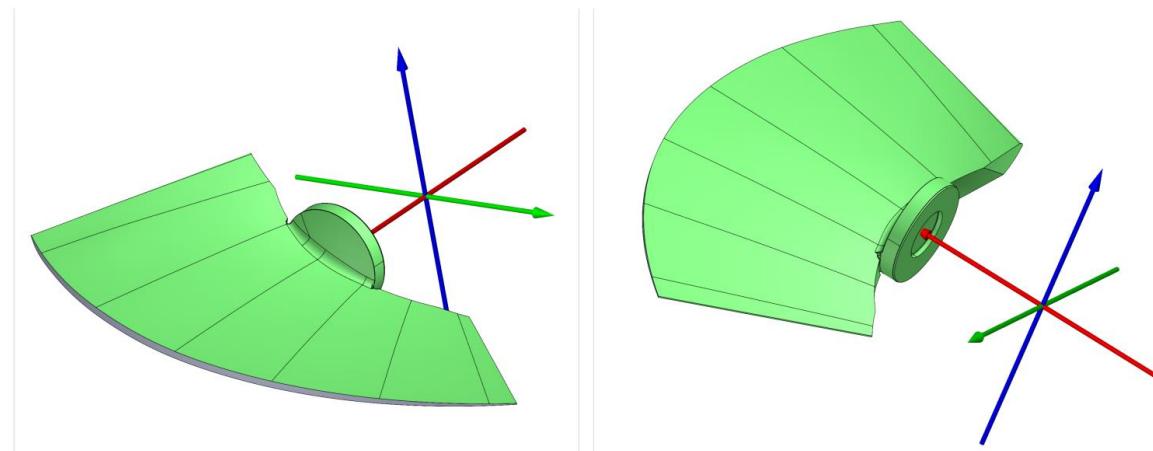


Fig. 4.18 Modelul 3D al paletei referință importat în programul GOM Inspect

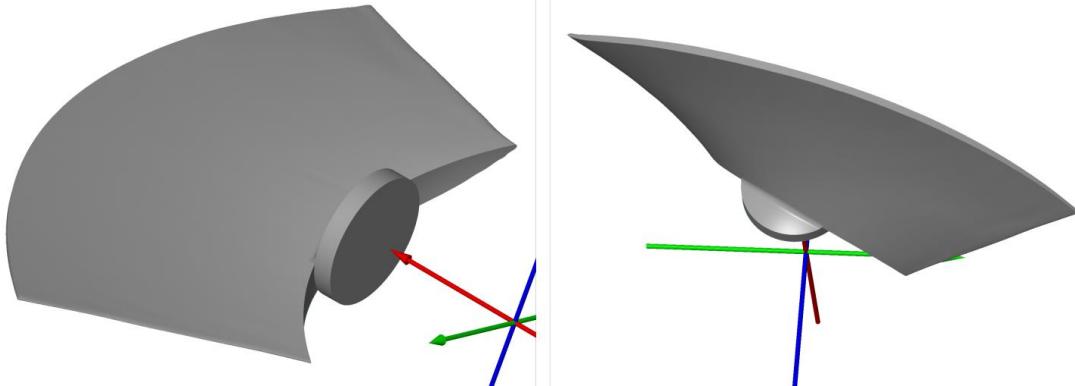
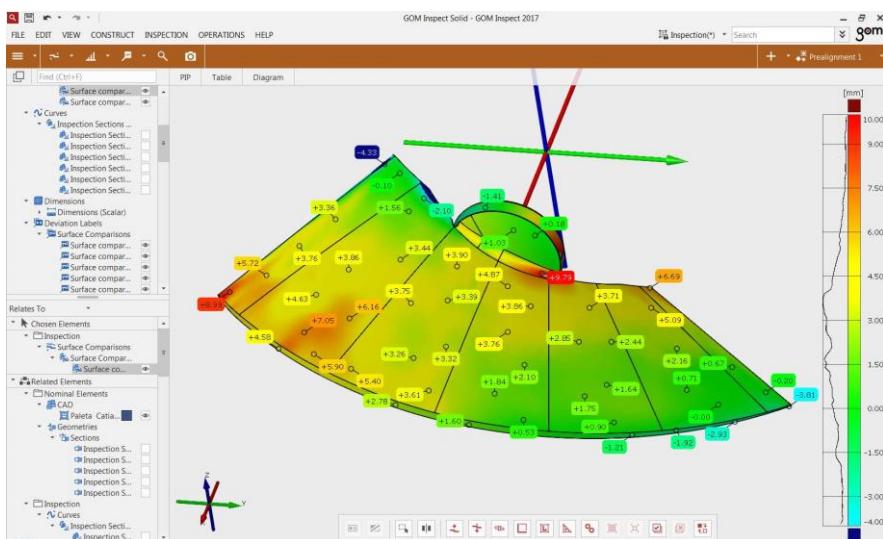


Fig. 4.19 Modelul 3D al paletei reconstituite importat în programul GOM Inspect

- comparația la nivel de profile, generate prin intersecția cu plane a paletei de referință și a paletei reconstituite, figura 4.21; s-a efectuat 6 intersecții cu plane, pentru care s-au determinat abaterile dintre profilului paletei de referință cu a paletei reconstituite, figurile 4.22, 4.23, 4.24, 4.25, 4.26, 4.27;



*Fig. 4.20
Compararea în
programul GOM
Inspect a
suprafețelor
modelului 3D
de referință cu
cel reconstituit*

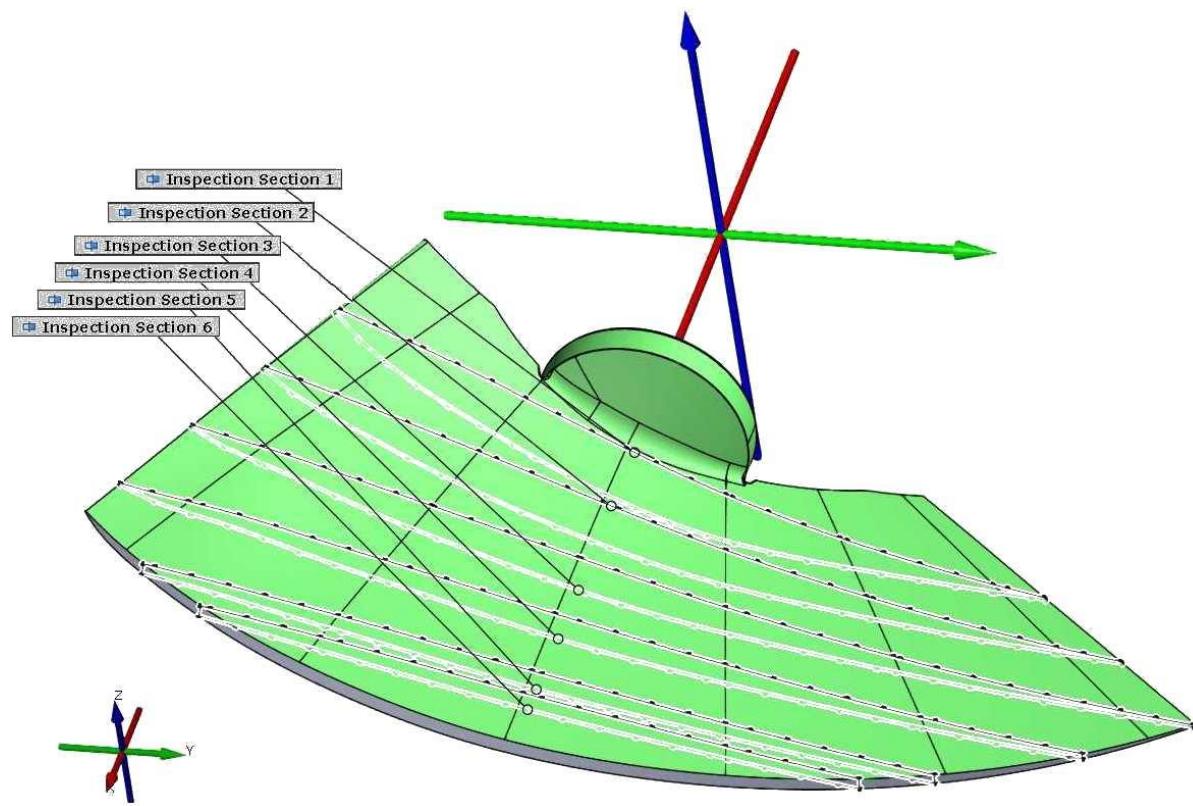


Fig. 4.21 Secțiunile de inspecție pe geometria paletei modelului 3D

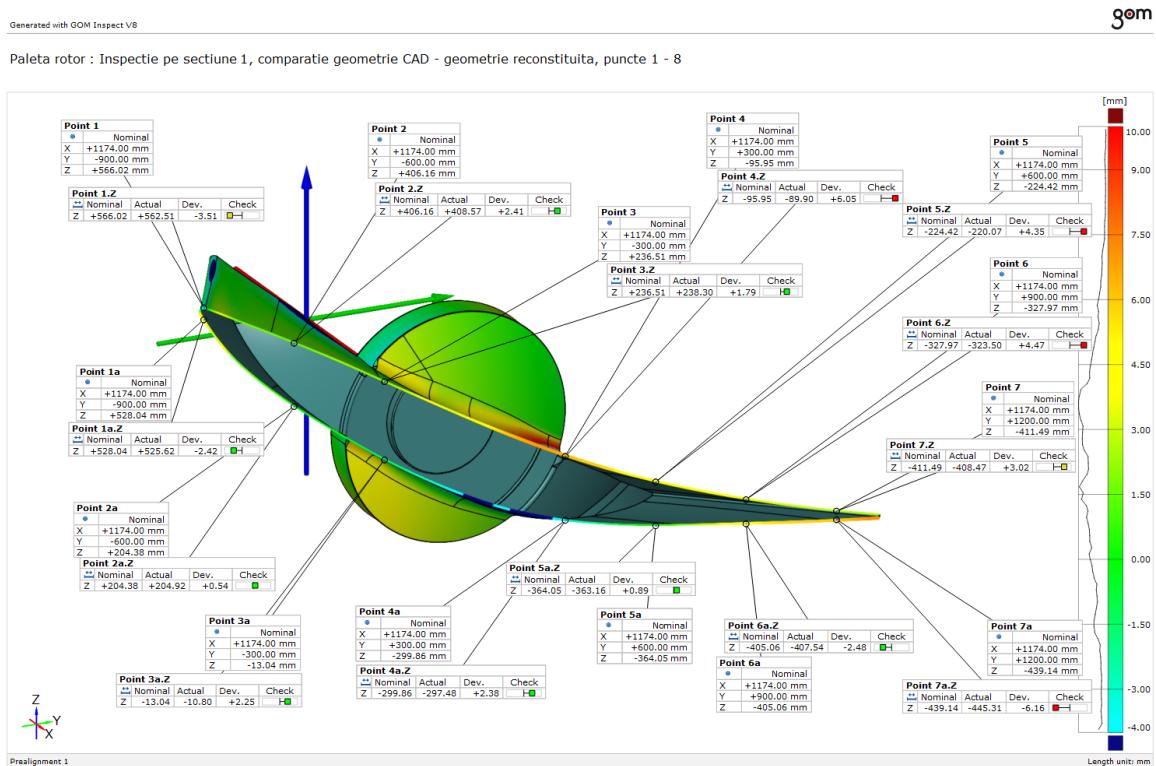


Fig. 4.22 Inspecție pe profile pentru secțiunea 1 a modelelor 3D

Generated with GOM Inspect V8

gom

Paleta rotor : Inspecție pe secțiune 2, comparație geometrie CAD - geometrie reconstituită, puncte 9 - 16

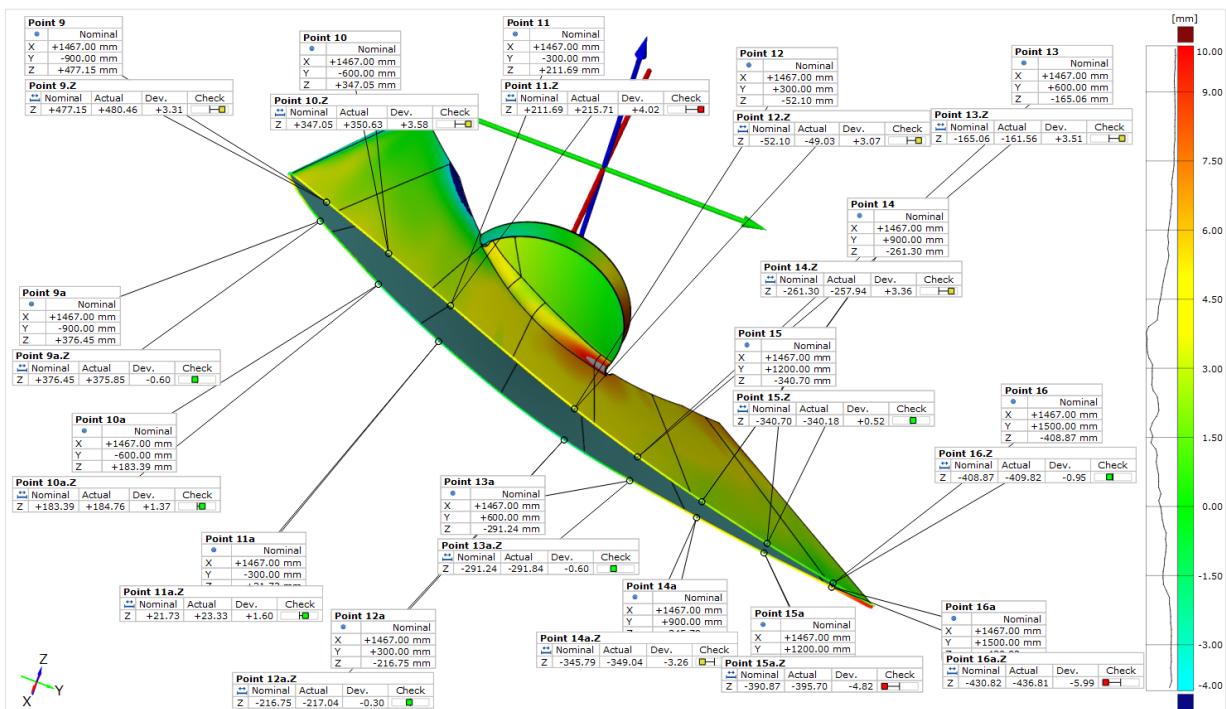


Fig. 4.23 Inspecție pe profile pentru secțiunea 2 a modelelor 3D

Generated with GOM Inspect V8

gom

Paleta rotor : Inspecție pe secțiune 3, comparație geometrie CAD - geometrie reconstituită, puncte 17 - 24

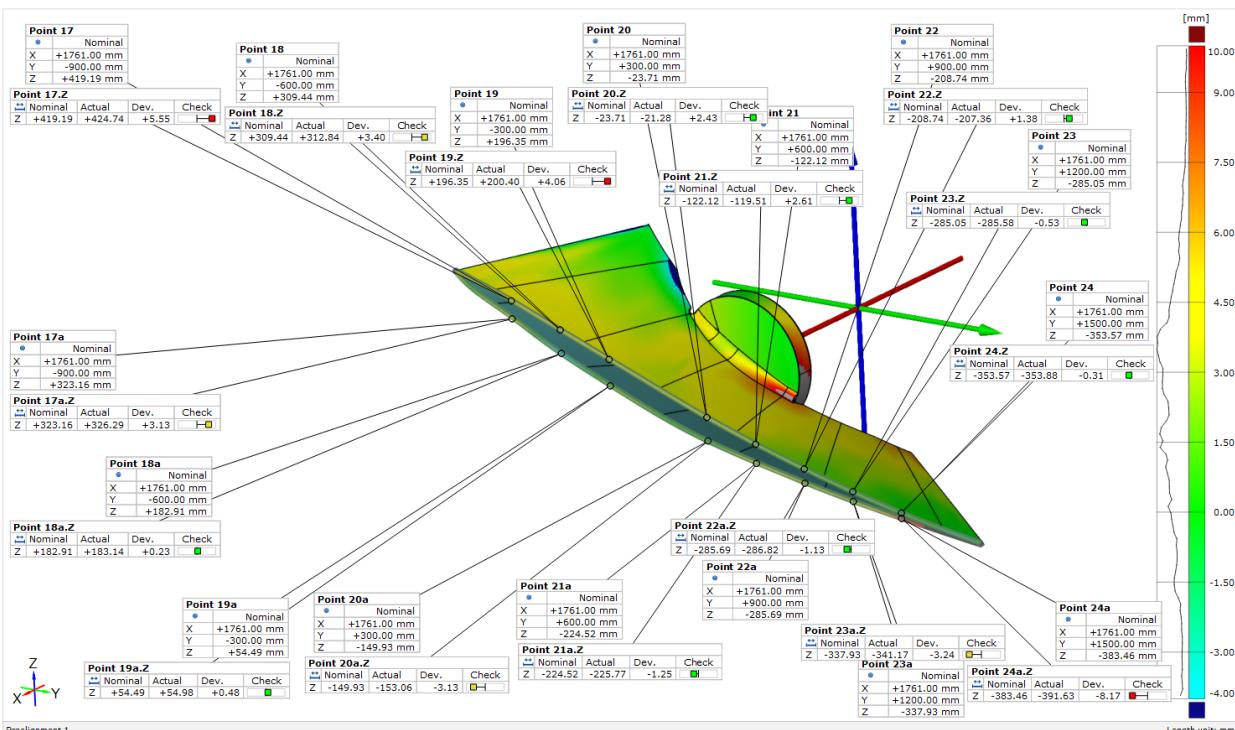


Fig. 4.24 Inspecție pe profile pentru secțiunea 3 a modelelor 3D

Generated with GOM Inspect V8

gom

Paleta rotor : Inspecție pe secțiune 4, comparație geometrie CAD - geometrie reconstituată, puncte 25 - 32

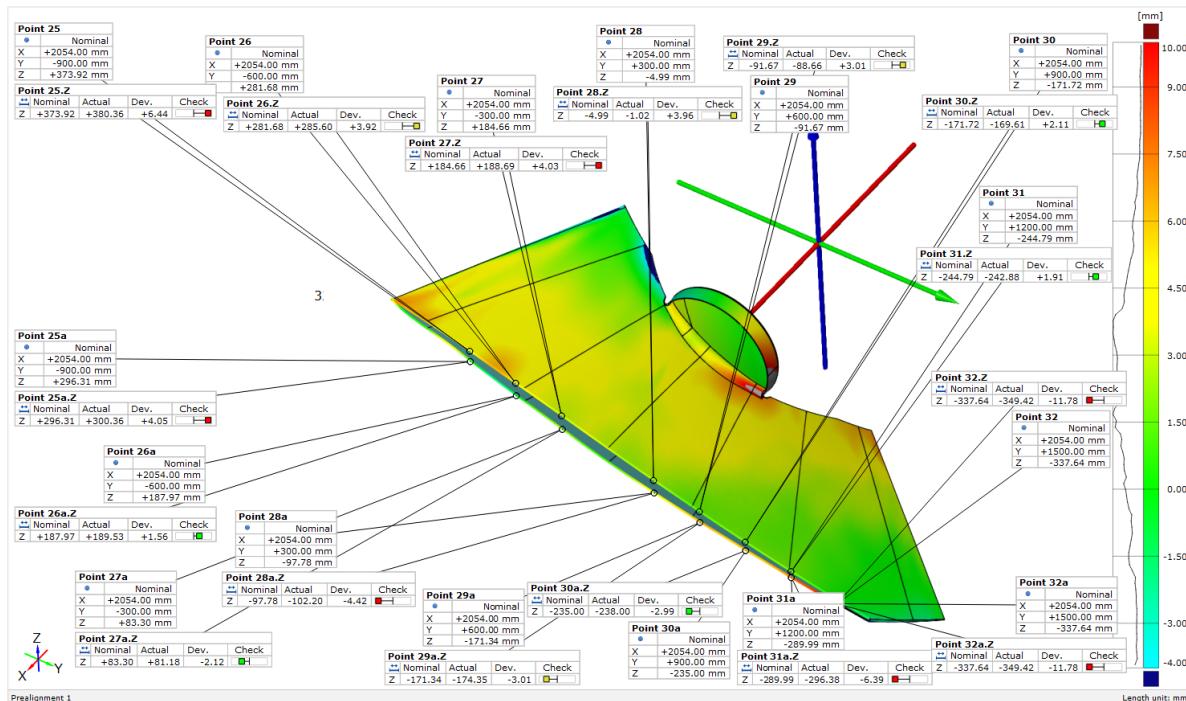


Fig. 4.25 Inspecție pe profile pentru secțiunea 4 a modelelor 3D

Generated with GOM Inspect V8

gom

Paleta rotor : Inspecție pe secțiune 5, comparație geometrie CAD - geometrie reconstituată, puncte 33 - 40

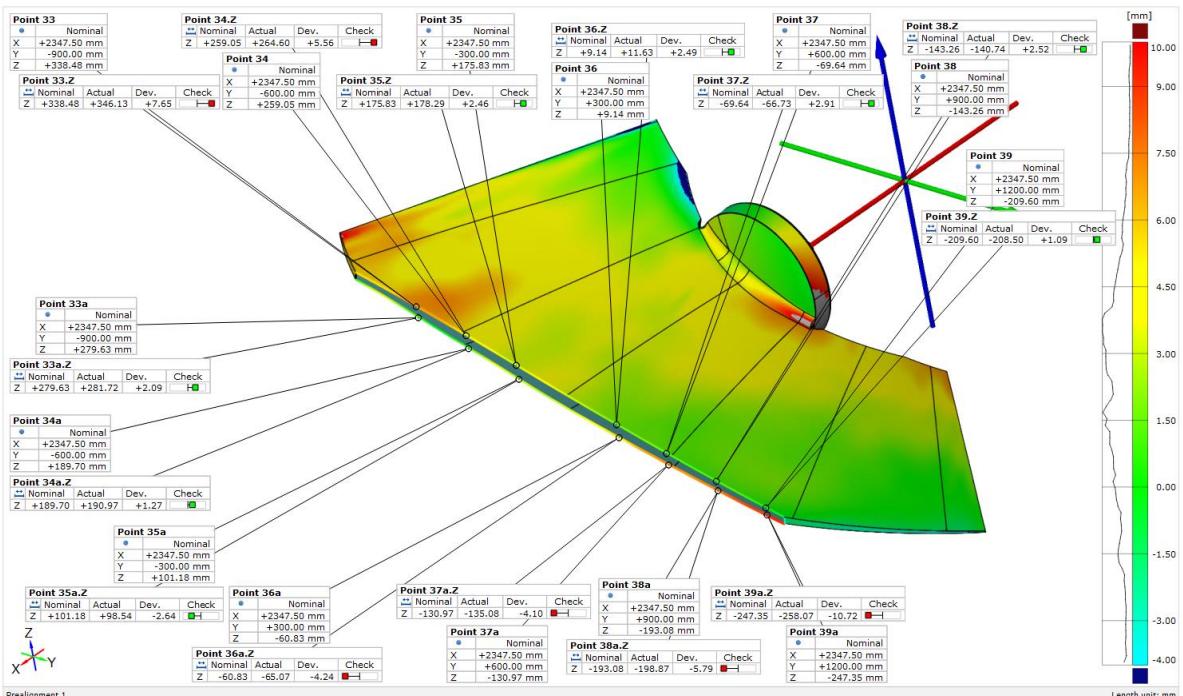


Fig. 4.26 Inspecție pe profile pentru secțiunea 5 a modelelor 3D

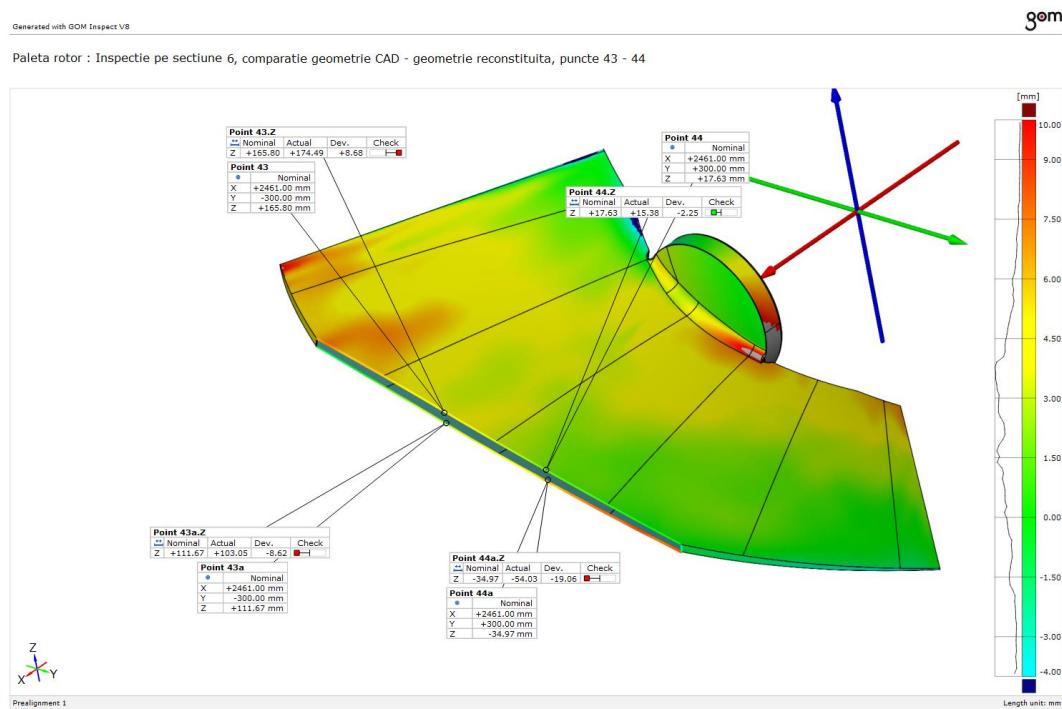


Fig. 4.27 Inspecție pe profile pentru secțiunea 6 a modelelor 3D

- cele 88 de puncte din comparația la nivel de profile, [figurile 4.22, 4.23, 4.24, 4.25, 4.26, 4.27](#), au fost centralizate în [tabelul 4.1](#), generat de aplicația GOM Inspect, din care rezultă că majoritatea abaterilor punctuale înregistrate, adică 64 de puncte (76,19 %), se încadrează în limitele abaterei admise de $\pm 5,4$ mm, iar restul de 20 puncte (23,81 %) se situează în afara toleranței, dintre care: 7 puncte (8.33 %) depășesc abaterea admisă cu maxim 1 mm, 5 puncte (5.95 %) depășesc abaterea admisă cu maxim 3 mm, 5 puncte (5.95 %) depășesc abaterea admisă cu maxim 6 mm, iar 3 puncte (3.57 %) depășesc abaterea admisă cu mai mult de 6 mm.

Coloanele [tabelului 4.1](#) au următoarele semnificații:

- *Element* reprezintă identificatorul punctului pe profil;
- *Property* reprezintă direcția Z de măsurare a abaterii;
- *Nominal* reprezintă cota pe direcția Z a paletei de referință;
- *Actual* reprezintă cota pe direcția Z a paletei reconstituite;
- *Tol- / Tol+* reprezintă abaterea minimă/maximă admisă a toleranței;
- *Dev* reprezintă abaterea profilului paletei reconstituite față de profilul paletei de referință;
- *Check* este un marker grafic, de culoare galben/verde, dacă abaterea se încadrează în domeniul toleranței, respectiv roșu în caz contrar;
- *Out* reprezintă diferența cu care toleranța este depășită.

Tabel. 4.1 Tabel de inspecție punctuală pe secțiuni – paleta industrială

GOM

Generated with GOM Inspect 2017

Paleta rotor : Tabel inspectie punctuala pe sectiuni, verificare geometrie CAD - geometrie reconstituita

Element	Property	Nominal	Actual	Tol -	Tol +	Dev	Check	Out	Element	Property	Nominal	Actual	Tol -	Tol +	Dev	Check	Out
• Point 1	Z	+566.02	+562.51	-5.40	+5.40	-3.51	■	□	• Point 24	Z	-353.57	-353.88	-5.40	+5.40	-0.31	■	□
• Point 1a	Z	+528.04	+525.62	-5.40	+5.40	-2.42	■	□	• Point 24a	Z	-383.46	-391.63	-5.40	+5.40	-8.17	■	□
• Point 2	Z	+406.16	+408.57	-5.40	+5.40	+2.41	■	□	• Point 25	Z	+373.92	+380.36	-5.40	+5.40	+6.44	□	■
• Point 2a	Z	+204.38	+204.92	-5.40	+5.40	+0.54	■	□	• Point 25a	Z	+296.31	+300.36	-5.40	+5.40	+4.05	■	□
• Point 3	Z	+236.51	+238.30	-5.40	+5.40	+1.79	■	□	• Point 26	Z	+281.68	+285.60	-5.40	+5.40	+3.92	■	□
• Point 3a	Z	-13.04	-10.80	-5.40	+5.40	+2.25	■	□	• Point 26a	Z	+187.97	+189.53	-5.40	+5.40	+1.56	■	□
• Point 4	Z	-95.95	-89.90	-5.40	+5.40	+6.05	■	■	• Point 27	Z	+184.66	+188.69	-5.40	+5.40	+4.03	■	□
• Point 4a	Z	-299.86	-297.48	-5.40	+5.40	+2.38	■	□	• Point 27a	Z	+83.30	+81.18	-5.40	+5.40	-2.12	■	□
• Point 5	Z	-224.42	-220.07	-5.40	+5.40	+4.35	■	□	• Point 28	Z	-4.99	-10.02	-5.40	+5.40	+3.96	■	□
• Point 5a	Z	-364.05	-363.16	-5.40	+5.40	+0.89	■	□	• Point 28a	Z	-97.78	-102.20	-5.40	+5.40	-4.42	■	□
• Point 6	Z	-327.97	-323.50	-5.40	+5.40	+4.47	■	□	• Point 29	Z	-91.67	-88.66	-5.40	+5.40	+3.01	■	□
• Point 6a	Z	-405.06	-407.54	-5.40	+5.40	-2.48	■	□	• Point 29a	Z	-171.34	-174.35	-5.40	+5.40	-3.01	■	□
• Point 7	Z	-411.49	-408.47	-5.40	+5.40	+3.02	■	□	• Point 30	Z	-171.72	-169.61	-5.40	+5.40	+2.11	■	□
• Point 7a	Z	-439.14	-445.31	-5.40	+5.40	-6.16	■	■	• Point 30a	Z	-235.00	-238.00	-5.40	+5.40	-2.99	■	□
• Point 9	Z	+477.15	+480.46	-5.40	+5.40	+3.31	■	□	• Point 31	Z	-244.79	-242.88	-5.40	+5.40	+1.91	■	□
• Point 9a	Z	+376.45	+375.85	-5.40	+5.40	-0.60	■	□	• Point 31a	Z	-289.99	-296.38	-5.40	+5.40	-6.39	■	□
• Point 10	Z	+347.05	+350.63	-5.40	+5.40	+3.58	■	□	• Point 32	Z	-337.64	-349.42	-5.40	+5.40	-11.78	■	□
• Point 10a	Z	+183.39	+184.76	-5.40	+5.40	+1.37	■	□	• Point 32a	Z	-337.64	-349.42	-5.40	+5.40	-11.78	■	□
• Point 11	Z	+211.69	+215.71	-5.40	+5.40	+4.02	■	□	• Point 32a corectat	Z	-338.63	-349.44	-5.40	+5.40	-10.81	■	□
• Point 11a	Z	+21.73	+23.33	-5.40	+5.40	+1.60	■	□	• Point 33	Z	+338.48	+346.13	-5.40	+5.40	+7.65	■	□
• Point 12	Z	-52.10	-49.03	-5.40	+5.40	+3.07	■	□	• Point 33 corectat	Z	+339.50	+346.20	-5.40	+5.40	+6.70	■	□
• Point 12a	Z	-216.75	-217.04	-5.40	+5.40	-0.30	■	□	• Point 33a	Z	+279.63	+281.72	-5.40	+5.40	+2.09	■	□
• Point 13	Z	-165.06	-161.56	-5.40	+5.40	+3.51	■	□	• Point 34	Z	+259.05	+264.60	-5.40	+5.40	+5.56	■	□
• Point 13a	Z	-291.24	-291.84	-5.40	+5.40	-0.60	■	□	• Point 34 corectat	Z	+259.74	+264.65	-5.40	+5.40	+4.91	■	□
• Point 14	Z	-261.30	-257.94	-5.40	+5.40	+3.36	■	□	• Point 34a	Z	+189.70	+190.97	-5.40	+5.40	+1.27	■	□
• Point 14a	Z	-345.79	-349.04	-5.40	+5.40	-3.26	■	□	• Point 35	Z	+175.83	+178.29	-5.40	+5.40	+2.46	■	□
• Point 15	Z	-340.70	-340.18	-5.40	+5.40	+0.52	■	□	• Point 35a	Z	+101.18	+98.54	-5.40	+5.40	-2.64	■	□
• Point 15a	Z	-390.87	-395.70	-5.40	+5.40	-4.82	■	□	• Point 36	Z	+9.14	+11.63	-5.40	+5.40	+2.49	■	□
• Point 16	Z	-408.87	-409.82	-5.40	+5.40	-0.95	■	□	• Point 36a	Z	-60.83	-65.07	-5.40	+5.40	-4.24	■	□
• Point 16a	Z	-430.82	-436.81	-5.40	+5.40	-5.99	■	□	• Point 37	Z	-69.64	-66.73	-5.40	+5.40	+2.91	■	□
• Point 17	Z	+419.19	+424.74	-5.40	+5.40	+5.55	■	■	• Point 37a	Z	-130.97	-135.08	-5.40	+5.40	-4.10	■	□
• Point 17a	Z	+323.16	+326.29	-5.40	+5.40	+3.13	■	□	• Point 38	Z	-143.26	-140.74	-5.40	+5.40	+2.52	■	□
• Point 18	Z	+309.44	+312.84	-5.40	+5.40	+3.40	■	□	• Point 38a	Z	-193.08	-198.87	-5.40	+5.40	-5.79	■	□
• Point 18a	Z	+182.91	+183.14	-5.40	+5.40	+0.23	■	□	• Point 38a corectat	Z	-191.56	-198.81	-5.40	+5.40	-7.25	■	□
• Point 19	Z	+196.35	+200.40	-5.40	+5.40	+4.06	■	□	• Point 39	Z	-209.60	-208.50	-5.40	+5.40	+1.09	■	□
• Point 19a	Z	+54.49	+54.98	-5.40	+5.40	+0.48	■	□	• Point 39a	Z	-247.35	-258.07	-5.40	+5.40	-10.72	■	□
• Point 20	Z	-23.71	-21.28	-5.40	+5.40	+2.43	■	□	• Point 39a corectat	Z	-249.27	-258.14	-5.40	+5.40	-8.87	■	□
• Point 20a	Z	-149.93	-153.06	-5.40	+5.40	-3.13	■	□	• Point 43	Z	+165.80	+174.49	-5.40	+5.40	+8.68	■	□
• Point 21	Z	-122.12	-119.51	-5.40	+5.40	+2.61	■	□	• Point 43 corectat	Z	+171.27	+174.88	-5.40	+5.40	+3.61	■	□
• Point 21a	Z	-224.52	-225.77	-5.40	+5.40	-1.25	■	□	• Point 43a	Z	+111.67	+103.05	-5.40	+5.40	-8.62	■	□
• Point 22	Z	-208.74	-207.36	-5.40	+5.40	+1.38	■	□	• Point 43a corectat	Z	+105.13	+102.53	-5.40	+5.40	-2.60	■	□
• Point 22a	Z	-285.69	-286.82	-5.40	+5.40	-1.13	■	□	• Point 44	Z	+17.63	+15.38	-5.40	+5.40	-2.25	■	□
• Point 23	Z	-285.05	-285.58	-5.40	+5.40	-0.53	■	□	• Point 44a	Z	-34.97	-54.03	-5.40	+5.40	-19.06	■	□
• Point 23a	Z	-337.93	-341.17	-5.40	+5.40	-3.24	■	□	• Point 44a corectat	Z	+13.40	+15.12	-5.40	+5.40	+1.72	■	□

Trebuie menționat faptul că geometria scanată nu este o geometrie ideală, ci este o geometrie executată, care se încadrează într-un domeniu de toleranțe impus prin desenul de execuție și este afectată de asemenea de erori de execuție, deci nu este identică cu geometria din proiect. De asemenea însă scanarea este afectată de erori de scanare, care apar în orice proces de măsurare. Însă comparațiile efectuate prezентate în tabelul anterior se referă la o paletă teoretică, care nu corespunde 100% cu paleta reală scanată. La aceste diferențe contribuie și următoarele elemente: calitatea camerei și setările impuse pentru fotografiere, numărul și calitatea pozelor, setările impuse aplicației Agisoft Photoscan, corectitudinea aliniamentului realizat pentru comparație în aplicația GOM-Inspect, configurația calculatorului. Reducerea diferențelor se poate face prin creșterea numărului de poze achiziționate, utilizarea unui aparat foto profesional cu caracteristici tehnice superioare, îmbogățirea experienței în utilizarea tehnicii fotogrametriei, precum și a programelor de prelucrare a informațiilor asociate acesteia.

4.1.5 Calculul parametrilor geometrici ai profilelor

Vom considera ca ordonata Y a profilului hidrodinamic admite, conform [figurii 4.28](#), următoarea descompunere:

$$Y = Y_S \pm Y_G \quad (4.1)$$

și că profilul poate fi descris prin suprapunerea a două funcții: Y_S – funcția de schelet, [figura 4.29](#), respectiv Y_G – funcția de grosime (care generează un profil simetric, cu scheletul identic cu coarda profilului), [figura 4.30](#), astfel încât ordonatele Y^E corespunzătoare extradosului respectiv Y^I corespunzătoare intradosului se vor exprima prin relațiile:

$$Y^E = Y_S + Y_G \quad (4.2)$$

$$Y^I = Y_S - Y_G \quad (4.3)$$

Parametrii geometrici ai profilelor sunt parametrii de proiectare hidrodinamică a paletei. În cazul paletei reconstituite, pe baza profilelor generate prin intersecția paletei cu cilindrii și desfășurarea lor în plan, vom determina parametrii geometrici, în vederea actualizării unei baze de date statistice utilă la compararea cu parametrii unor palete proiectate anterior sau la proiectarea de palete pentru noi modele de rotoare.

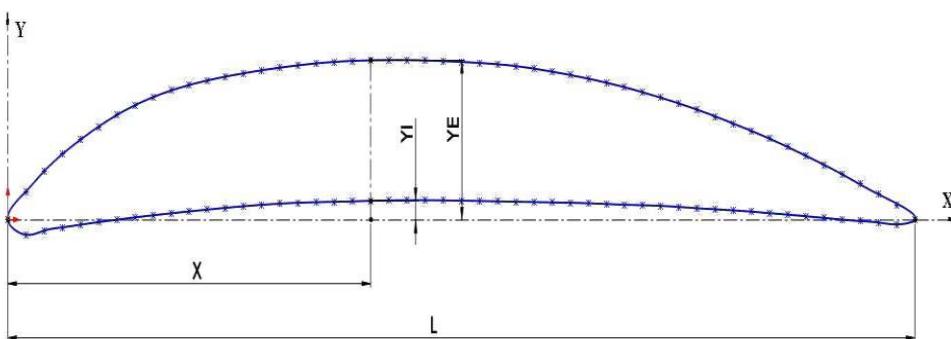


Fig. 4.28 Profil hidrodinamic

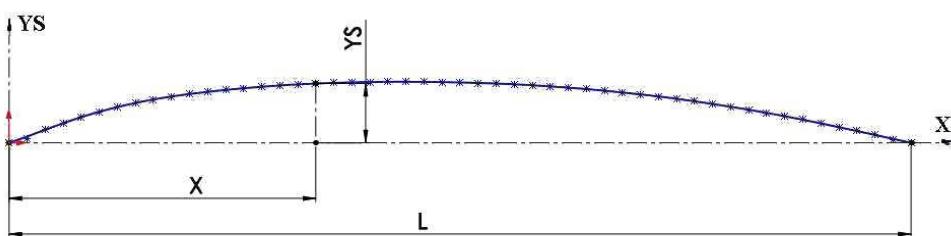


Fig. 4.29 Funcția de schelet a profilului hidrodinamic

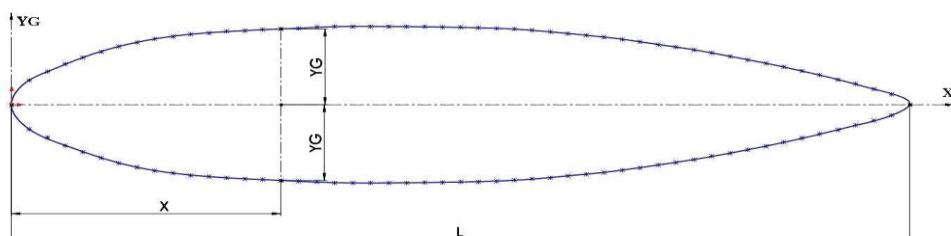


Fig. 4.30 Funcția de grosime a profilului hidrodinamic

Parametrii geometrici care vor fi determinați sunt:

- coarda profilelor desfășurate L ;
- unghiul de instalare al profilelor β_S ;
- săgeata relativă $f/L = (Y_S)_{\max}$
- poziția săgeții X_f/L ;
- grosimea relativă $d/L = (Y_G)_{\max}$
- poziția grosimii maxime X_d/L .

Parametrii L respectiv β_S vor fi comparați cu parametrii de proiectare.

Secționarea paletei turbinelor axiale cu cilindrii coaxiali cu axa rotorului, cilindrii care aproximează suprafețele de curgere din zona rotorului, conduc la rețele de profile, prin a căror desfășurare se generează rețelele plane rectilinii de profile.

[Figura 4.31](#) prezintă profilele 3D rezultate din intersecția paletei reconstituite cu 6 cilindrii centrați în axa rotorului, dispuși la raze crescătoare de la butuc spre periferie. Pentru fiecare profil au fost extrase din SolidWorks printr-un macro (program în Vizual Basic) 100 de coordonate tridimensionale (X , Y , Z) de pe extradosul și intradosul profilului și exportate într-un fișier Excel.

[Figura 4.32](#) exemplifică cele 100 de puncte pentru secțiunea a patra, pentru fiecare punct fiind generată în SolidWorks o etichetă textuală care reprezintă identificatorul numeric al punctului.

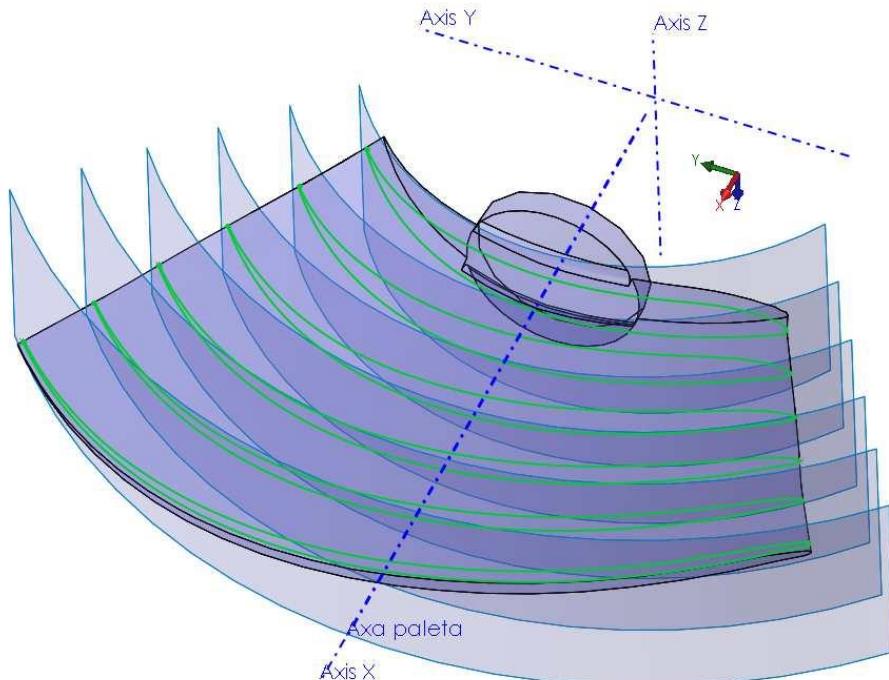


Fig. 4.31 Profile de intersecție ale paletei reconstituite cu cilindrii

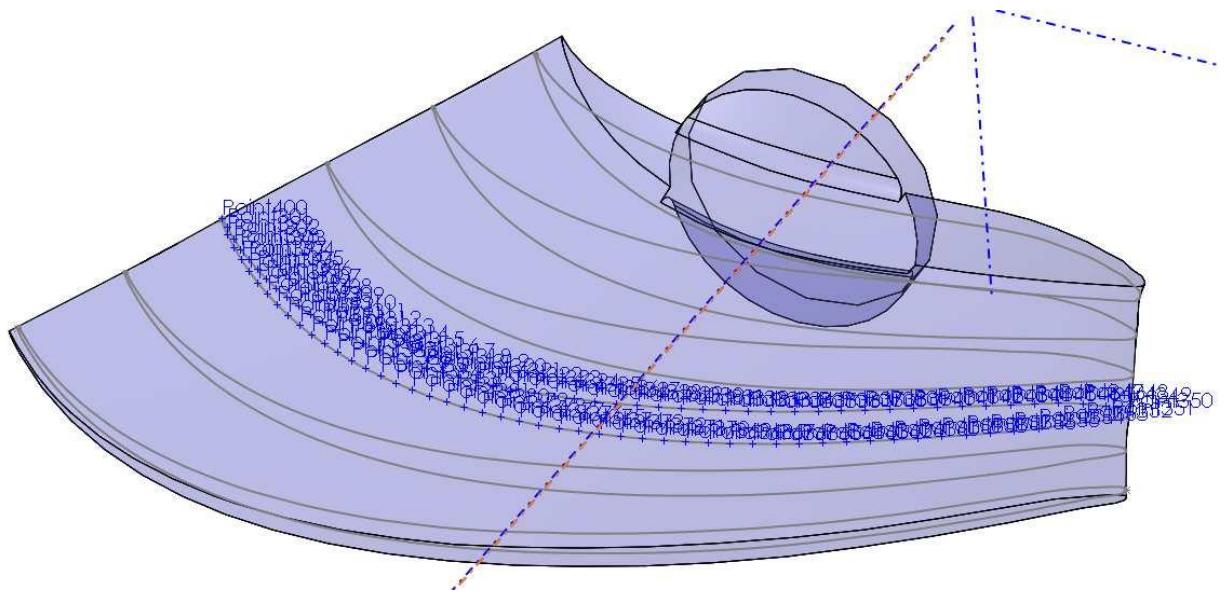


Fig. 4.32 Puncte pe profilul secțiunii a patra

Figura 4.33 prezintă corespondența dintre profilul generat de intersecția paletei cu cilindrul secțiunii 1 și profilul proiectat în planul YZ, unde:

- X – axa de rotație a paletei;
- Z – axa rotorului;
- Y – direcție perpendiculară pe planul XZ;
- R – raza cilindrului de intersecție;
- P – punct pe profilul spațial de coordonate (X, Y, Z), generat de intersecția cilindrului de rază R cu lama paletei;
- O – punct origine al paletei, plasat pe axa rotorului Z;
- θ – unghiul de dispunere al punctului P pe profil, format între axa X și raza R;
- Y_{desf} – reprezintă coordonata curbilinie a punctului P;
- P_1 – este proiecția punctului P în planul YZ;
- BA, BF – bordul de atac respectiv de fugă al profilului;
- L_1 – coarda profilului proiectat în planul YZ, care unește BA cu BF;
- O_1 – este punctul corespunzător axei de rotație X a paletei;
- χ_s – unghiul profilului proiectat în planul YZ.

Figura 4.34 prezintă desfășurata profilului secțiunii 1, unde ordonata Z se conservă, iar abscisa Y se substituie cu abscisa Y_{desf} , calculată prin următoarea relație:

$$Y_{desf} = R \cdot \theta^{[rad]} = R \cdot \arcsin(Y/R) \quad (4.4)$$

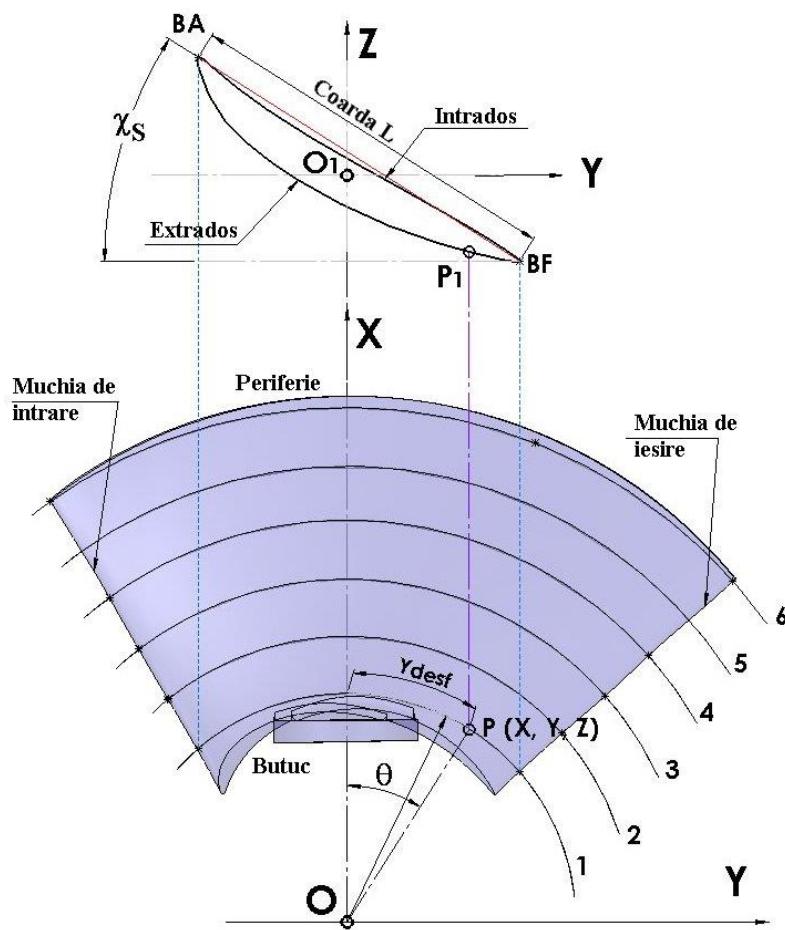


Fig. 4.33
Proiecție profil în planul YZ

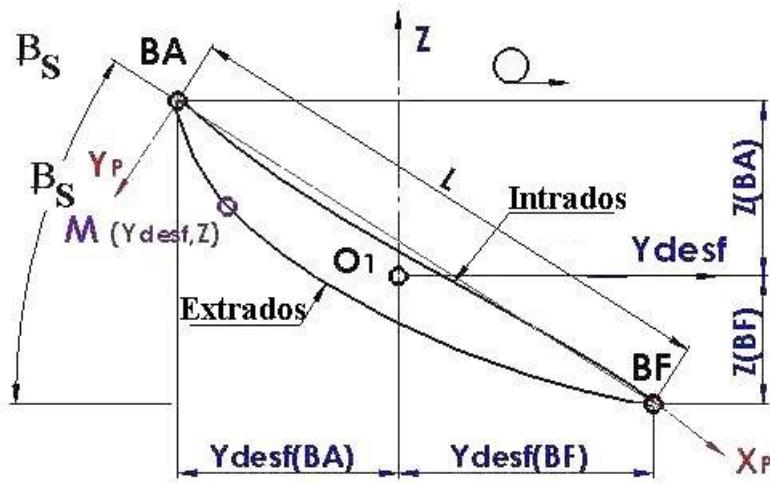


Fig. 4.34 Profil desfășurat în sistemul de referință $Y_{desf} Z$

Astfel, profilul desfășurat este exprimat în sistemul de referință $Y_{desf} Z$, cu originea în punctul O_1 , sensul pozitiv al abscisei Y_{desf} este spre dreapta, iar al ordonatei Z în sus. Pentru fiecare secțiune, din [figura 4.34](#), se pot determina următoarele mărimi:

- $Y_{desf}(BA)$ – abscisa bordului de atac;
- $Z(BA)$ – ordonata bordului de atac;
- $Y_{desf}(BF)$ – abscisa bordului de fugă;

- $Z(BF)$ – ordonata bordului de fugă;
- coarda profilului L pe desfășurată, calculată prin relația:

$$L = \sqrt{[Y_{desf}(BF) - Y_{desf}(BA)]^2 + [Z(BF) - Z(BA)]^2} \quad (4.5)$$

- unghiul de instalare al profilului pe desfășurată β_S , calculat prin relația:

$$\beta_S = \arctg\left(\frac{Z(BA) - Z(BF)}{Y_{desf}(BF) - Y_{desf}(BA)}\right) \quad (4.6)$$

Pentru a calcula parametrii geometrici ai profilului, săgeata relativă f/L și poziția săgeții X_f/L , respectiv grosimea relativă d/L și poziția grosimii maxime X_d/L , se impune transpunerea coordonatelor din sistemul $Y_{desf} Z$, figura 4.34, în sistemul de referință propriu al profilului X_P, Y_P , figura 4.35, prin rotația profilului în jurul punctului O_1 , astfel încât coarda L este dispusă pe direcția abscisei X_P , orientată pozitiv spre dreapta, iar ordonata Y_P are direcția perpendiculară pe coardă; transpunerea se face pe baza următoarelor relații, unde indicii „e” și „i” se referă la extrados respectiv intrados:

$$X_e = X_i = Y_{desf} + Y_{desf}(BA) \quad (4.7)$$

$$Y_e = Z_e + Z(BF) \quad (4.8)$$

$$Y_i = Z_i + Z(BF) \quad (4.9)$$

$$Y_{Pe} = \frac{[L \cdot \sin(\beta_S) - Y_e] \cdot \cos(\beta_S) - X_e \cdot \sin(\beta_S)}{L} \quad (4.10)$$

$$X_{Pe} = \frac{X_e + Y_{Pe} \cdot L \cdot \sin(\beta_S)}{L \cdot \cos(\beta_S)} \quad (4.11)$$

$$Y_{Pi} = \frac{[L \cdot \sin(\beta_S) - Y_i] \cdot \cos(\beta_S) - X_i \cdot \sin(\beta_S)}{L} \quad (4.12)$$

$$X_{Pi} = \frac{X_i + Y_{Pi} \cdot L \cdot \sin(\beta_S)}{L \cdot \cos(\beta_S)} \quad (4.13)$$

Astfel, prin rotația profilului, punctul curent M de pe profil de coordonate $Y_{desf} Z$, figura 4.34, se transpune în sistemul de referință propriu al profilului în punctul M_P de coordonate X_P, Y_P , figura 4.35.

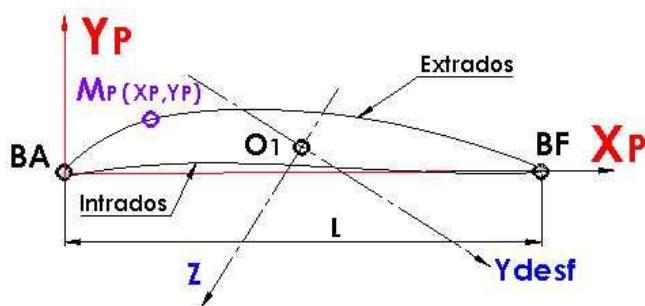


Fig. 4.35 Profil în sistemul de referință propriu X_P, Y_P

Din relațiile 4.10 ÷ 4.13 se poate observa că abscisele X_{Pe} , X_{Pi} respectiv ordonatele Y_{Pe} și Y_{Pi} sunt adimensionalizate în raport cu coarda profilului. Astfel, putem asocia profilului o reprezentare parametrică de forma $Y_P = Y_P(\varphi)$, unde unghiul φ este argumentul reprezentării, cu următoarele valori particulare:

- $\varphi = 0^\circ = 360^\circ$ – corespunde bordului de fugă;
 - $\varphi = 180^\circ$ – corespunde bordului de atac;
 - $\varphi \in (0^\circ \div 180^\circ)$ – corespunde extradosului profilului;
 - $\varphi \in (180^\circ \div 360^\circ)$ – corespunde intradosului profilului.
- (4.14)

Prin această reprezentare, fiecărui punct de pe extradosul sau intradosul profilului, îi este asociat un unghi cu valorile definite prin relația 4.14, care poate fi calculat prin relațiile:

$$\varphi^e = \arccos(2 \cdot X_{Pe} - 1) \quad (4.15)$$

$$\varphi^i = 360^\circ - \arccos(2 \cdot X_{Pi} - 1) \quad (4.16)$$

Coordonatele punctelor profilelor pentru cele 6 secțiuni sunt prezentate în tabelele 4.2 ÷ 4.7, unde:

- X, Y, Z – sunt coordonatele spațiale ale punctului de pe profil, figura 4.33;
- unghiul θ – este unghiul de dispunere a punctului pe profil în raport cu axa X, figura 4.33;
- Y_{desf} – corespunde coordonatei curbilinii a punctului de pe profil, figura 4.33, relația 4.4;
- X_e/X_i – abscise intermediare de calcul, relația 4.7;
- Y_e/Y_i – ordonate intermediare de calcul, relațiile 4.8 și 4.9;
- X_{Pe}/X_{Pi} – abscise în sistemul de referință propriu al profilului, figura 4.35, relațiile 4.11 și 4.13;
- Y_{Pe}/Y_{Pi} – ordonate extrados respectiv intrados în sistemul de referință propriu al profilului, figura 4.35, relațiile 4.10 și 4.12;
- φ_e/φ_i – argumentul reprezentării parmetrice pentru punctele de pe extradosul respectiv intradosul profilului în sistemul de referință propriu, relațiile 4.15 și 4.16.

Figurile 4.36 ÷ 4.41 prezintă grafic, pentru fiecare secțiune, profilele proiectate în planul ZY, peste care s-au suprapus profilele desfășurate, ale căror coordonate sunt date în tabelele 4.2 ÷ 4.7.

Tabelul 4.8 și figurile 4.42 ÷ 4.43 prezintă valorile unghiului de instalare β_S și ale corzii profilelor L, determinate din proiect comparativ cu cele calculate prin relațiile 4.6 și 4.5 pentru paleta reconstituită prin scanare 3D. Din tabel rezultă că abaterea procentuală maximă pentru unghiul de instalare β_S este de maxim 3,89%, în timp ce la coardă abaterea procentuală este de maxim 1.07 %.

Tabel 4.2 Coordonate profil secțiunea 1

Pct.	X	Y	Z	θ	Y _{desf}	X _{e/X_i}	Y _{e/Y_i}	X _{Pe/X_{Pi}}	Y _{Pe/Y_{Pi}}	φ _{e/φ_i}
	mm	mm	mm	grade	mm	mm	mm	[-]	[-]	grade
	Coordonate spațiale Figura 4.32			Figura 4.32	Rel. 4.4	Rel. 4.7	Rel. 4.8 Rel. 4.9	Rel. 4.1 Rel. 4.13	Rel. 4.10 Rel. 4.12	Rel. 4.15 Rel. 4.16
BF	772.67	883.89	-456.11	0.852438	1000.76	1839.55	0.00	1.0000	0.0000	0.00
1	801.20	858.11	-460.88	0.819684	962.31	1801.10	-4.77	0.9852	0.0109	13.96
2	832.19	828.10	-455.69	0.782935	919.17	1757.96	0.42	0.9662	0.0188	21.19
3	862.00	797.01	-450.01	0.746242	876.09	1714.88	6.11	0.9471	0.0264	26.60
4	890.52	765.02	-442.81	0.70974	833.23	1672.03	13.30	0.9277	0.0334	31.19
5	917.81	732.05	-435.35	0.673274	790.42	1629.22	20.76	0.9083	0.0403	35.26
6	943.86	698.15	-427.57	0.636859	747.67	1586.46	28.54	0.8888	0.0470	38.95
7	968.60	663.39	-419.31	0.600519	705.01	1543.80	36.80	0.8693	0.0535	42.39
8	992.00	627.86	-410.49	0.564275	662.46	1501.25	45.62	0.8497	0.0597	45.63
9	1014.02	591.63	-400.97	0.528162	620.06	1458.85	55.14	0.8299	0.0656	48.71
10	1034.65	554.78	-390.74	0.492187	577.83	1416.62	65.37	0.8101	0.0712	51.67
11	1053.88	517.32	-380.02	0.456318	535.72	1374.51	76.09	0.7902	0.0765	54.52
12	1071.71	479.29	-368.88	0.420539	493.71	1332.50	87.23	0.7703	0.0817	57.28
13	1088.12	440.77	-357.26	0.384875	451.84	1290.63	98.86	0.7503	0.0866	59.96
14	1103.04	401.97	-344.62	0.349462	410.27	1249.06	111.49	0.7302	0.0910	62.59
15	1116.51	362.89	-331.20	0.314256	368.94	1207.73	124.91	0.7100	0.0951	65.17
16	1128.57	323.43	-317.59	0.279104	327.67	1166.46	138.52	0.6898	0.0991	67.69
17	1139.20	283.73	-303.49	0.244092	286.56	1125.36	152.62	0.6695	0.1028	70.18
18	1148.35	244.04	-288.35	0.209401	245.84	1084.63	167.76	0.6492	0.1060	72.64
19	1156.07	204.40	-272.32	0.174995	205.44	1044.24	183.79	0.6288	0.1087	75.07
20	1162.40	164.61	-256.05	0.140673	165.15	1003.94	200.06	0.6084	0.1114	77.48
21	1167.35	124.74	-239.49	0.106452	124.97	963.77	216.62	0.5879	0.1139	79.87
22	1170.91	85.09	-222.07	0.072545	85.17	923.96	234.04	0.5674	0.1159	82.25
23	1173.11	45.83	-203.59	0.039044	45.84	884.63	252.52	0.5469	0.1174	84.62
24	1173.98	6.87	-184.36	0.005853	6.87	845.66	271.75	0.5263	0.1185	86.98
25	1173.57	-31.84	-164.62	-0.02712	-31.84	806.95	291.50	0.5057	0.1193	89.34
26	1171.89	-70.32	-144.51	-0.05993	-70.36	768.43	311.60	0.4852	0.1200	91.70
27	1168.97	-108.57	-124.10	-0.09261	-108.73	730.06	332.01	0.4646	0.1205	94.06
28	1164.82	-146.53	-103.36	-0.12514	-146.91	691.88	352.75	0.4440	0.1208	96.43
29	1159.48	-184.09	-82.17	-0.15745	-184.85	653.94	373.94	0.4234	0.1208	98.81
30	1152.98	-221.15	-60.43	-0.1895	-222.48	616.31	395.68	0.4028	0.1206	101.21
31	1145.36	-257.74	-38.27	-0.22134	-259.85	578.94	417.84	0.3822	0.1201	103.63
32	1136.64	-293.82	-15.68	-0.25296	-296.98	541.82	440.43	0.3616	0.1194	106.06
33	1126.91	-329.15	7.67	-0.28417	-333.62	505.17	463.78	0.3411	0.1182	108.53
34	1116.25	-363.67	31.81	-0.31496	-369.76	469.03	487.92	0.3205	0.1167	111.03
35	1104.64	-397.55	56.42	-0.34546	-405.57	433.22	512.53	0.3000	0.1148	113.57
36	1092.07	-430.88	81.30	-0.3758	-441.19	397.60	537.41	0.2795	0.1128	116.16
37	1078.63	-463.51	106.66	-0.40587	-476.49	362.31	562.77	0.2591	0.1105	118.81
38	1064.41	-495.28	132.68	-0.43551	-511.29	327.50	588.79	0.2387	0.1079	121.51
39	1049.51	-526.11	159.42	-0.46468	-545.54	293.26	615.53	0.2183	0.1048	124.29
40	1033.96	-556.06	186.80	-0.49343	-579.28	259.51	642.91	0.1980	0.1013	127.16

Tabel 4.2 Coordonate profil secțiunea 1

Pct.	X	Y	Z	θ	Y _{desf}	X _{e/X_i}	Y _{e/Y_i}	X _{Pe/X_{Pi}}	Y _{Pe/Y_{Pi}}	φ _{e/φ_i}
	mm	mm	mm	grade	mm	mm	mm	[-]	[-]	grade
	Coordonate spațiale Figura 4.32			Figura 4.32	Rel. 4.4	Rel. 4.7	Rel. 4.8 Rel. 4.9	Rel. 4.1 Rel. 4.13	Rel. 4.10 Rel. 4.12	Rel. 4.15 Rel. 4.16
41	1018.09	-584.61	215.45	-0.52124	-611.94	226.85	671.57	0.1779	0.0970	130.11
42	1002.12	-611.57	245.55	-0.54794	-643.28	195.51	701.66	0.1579	0.0919	133.17
43	986.17	-636.97	276.99	-0.57349	-673.28	165.51	733.10	0.1382	0.0859	136.35
44	970.79	-660.19	310.33	-0.59721	-701.13	137.66	766.44	0.1190	0.0785	139.64
45	956.00	-681.43	345.23	-0.61926	-727.01	111.78	801.34	0.1002	0.0701	143.09
46	941.31	-701.58	380.82	-0.6405	-751.95	86.84	836.93	0.0816	0.0612	146.80
47	927.18	-720.15	417.47	-0.66037	-775.28	63.51	873.59	0.0635	0.0515	150.82
48	914.04	-736.75	455.41	-0.67841	-796.45	42.34	911.52	0.0459	0.0407	155.25
49	902.31	-751.08	494.72	-0.69419	-814.97	23.82	950.83	0.0291	0.0288	160.34
50	892.47	-762.74	535.34	-0.70718	-830.23	8.56	991.45	0.0134	0.0156	166.70
BA	886.88	-769.23	577.84	-0.71447	-838.79	0.00	1033.96	0.0000	0.0000	180.00
52	909.77	-742.02	583.29	-0.68419	-803.24	35.56	1039.41	0.0134	-0.0105	193.31
53	931.73	-714.25	558.17	-0.65403	-767.83	70.97	1014.28	0.0339	-0.0083	201.21
54	952.72	-686.01	532.67	-0.62406	-732.64	106.15	988.78	0.0543	-0.0060	206.96
55	973.00	-656.92	507.56	-0.59385	-697.18	141.61	963.67	0.0748	-0.0038	211.75
56	992.48	-627.11	482.64	-0.56352	-661.57	177.22	938.75	0.0953	-0.0018	215.97
57	1011.11	-596.60	457.94	-0.53307	-625.82	212.97	914.05	0.1158	0.0001	219.79
58	1028.84	-565.47	433.35	-0.50255	-589.99	248.80	889.46	0.1363	0.0019	223.34
59	1045.70	-533.66	409.02	-0.47188	-553.99	284.80	865.13	0.1569	0.0036	226.66
60	1061.63	-501.22	384.89	-0.4411	-517.85	320.94	841.00	0.1774	0.0052	229.82
61	1076.59	-468.22	360.90	-0.41023	-481.61	357.18	817.02	0.1979	0.0067	232.83
62	1090.55	-434.73	336.99	-0.37933	-445.33	393.46	793.11	0.2185	0.0081	235.73
63	1103.48	-400.75	313.19	-0.34836	-408.97	429.82	769.30	0.2390	0.0095	238.53
64	1115.41	-366.26	289.61	-0.31727	-372.48	466.32	745.72	0.2596	0.0108	241.26
65	1126.30	-331.26	266.26	-0.28605	-335.82	502.97	722.37	0.2801	0.0119	243.91
66	1136.13	-295.76	243.22	-0.25467	-298.98	539.81	699.33	0.3007	0.0129	246.51
67	1144.91	-259.73	220.57	-0.22308	-261.90	576.90	676.68	0.3213	0.0136	249.06
68	1152.61	-223.08	198.54	-0.19118	-224.44	614.35	654.65	0.3419	0.0140	251.56
69	1159.16	-186.06	176.74	-0.15916	-186.85	651.94	632.85	0.3625	0.0143	254.03
70	1164.50	-149.07	154.57	-0.12732	-149.47	689.32	610.68	0.3830	0.0148	256.47
71	1168.66	-111.90	132.46	-0.09546	-112.07	726.73	588.57	0.4036	0.0152	258.89
72	1171.63	-74.48	110.56	-0.06349	-74.53	764.26	566.67	0.4242	0.0156	261.28
73	1173.42	-36.77	89.05	-0.03133	-36.78	802.01	545.16	0.4448	0.0157	263.66
74	1174.00	1.09	67.72	0.000925	1.09	839.88	523.84	0.4654	0.0157	266.03
75	1173.35	39.05	46.60	0.033272	39.06	877.85	502.71	0.4860	0.0156	268.39
76	1171.47	77.11	25.71	0.065727	77.16	915.96	481.82	0.5066	0.0154	270.75
77	1168.34	115.10	4.86	0.098202	115.29	954.08	460.97	0.5272	0.0152	273.12
78	1163.99	152.98	-16.00	0.130675	153.41	992.20	440.11	0.5478	0.0149	275.48
79	1158.41	190.68	-36.86	0.163146	191.53	1030.32	419.25	0.5684	0.0147	277.86
80	1151.61	228.19	-57.73	0.195611	229.65	1068.44	398.38	0.5889	0.0145	280.25
81	1143.60	265.44	-78.62	0.228068	267.75	1106.54	377.49	0.6095	0.0143	282.66

Tabel 4.2 Coordonate profil secțiunea 1

Pct.	X	Y	Z	θ	Y _{desf}	X _{e/X_i}	Y _{e/Y_i}	X _{Pe/X_{Pi}}	Y _{Pe/Y_{Pi}}	Φ _{e/Φ_i}
	mm	mm	mm	grade	mm	mm	mm	[-]	[-]	grade
	Coordonate spațiale Figura 4.32			Figura 4.32	Rel. 4.4	Rel. 4.7	Rel. 4.8 Rel. 4.9	Rel. 4.1 Rel. 4.13	Rel. 4.10 Rel. 4.12	Rel. 4.15 Rel. 4.16
82	1134.37	302.46	-99.40	0.260575	305.91	1144.71	356.71	0.6301	0.0140	285.09
83	1123.88	339.36	-119.83	0.293245	344.27	1183.06	336.29	0.6507	0.0135	287.54
84	1112.17	375.96	-140.10	0.325985	382.71	1221.50	316.01	0.6713	0.0130	290.04
85	1099.29	412.10	-160.51	0.358664	421.07	1259.86	295.61	0.6919	0.0125	292.57
86	1085.29	447.68	-181.14	0.391237	459.31	1298.10	274.97	0.7125	0.0121	295.15
87	1070.07	482.94	-201.47	0.423953	497.72	1336.51	254.64	0.7331	0.0116	297.78
88	1053.49	518.11	-220.88	0.457067	536.60	1375.39	235.23	0.7536	0.0106	300.48
89	1035.81	552.61	-240.51	0.490091	575.37	1414.16	215.61	0.7742	0.0097	303.26
90	1017.07	586.38	-260.41	0.522994	613.99	1452.79	195.70	0.7948	0.0090	306.13
91	997.13	619.69	-279.94	0.55606	652.81	1491.61	176.17	0.8154	0.0080	309.10
92	976.04	652.39	-299.28	0.589205	691.73	1530.52	156.83	0.8359	0.0070	312.21
93	953.85	684.43	-318.49	0.622406	730.70	1569.50	137.62	0.8565	0.0059	315.48
94	930.57	715.76	-337.61	0.655648	769.73	1608.52	118.51	0.8770	0.0047	318.95
95	906.24	746.33	-356.61	0.688936	808.81	1647.60	99.50	0.8976	0.0035	322.67
96	880.84	776.15	-375.42	0.7223	847.98	1686.77	80.69	0.9182	0.0021	326.75
97	854.61	804.93	-394.70	0.755472	886.92	1725.72	61.41	0.9387	0.0011	331.33
98	827.48	832.80	-414.08	0.788601	925.82	1764.61	42.03	0.9593	0.0000	336.72
99	799.10	860.07	-432.49	0.822129	965.18	1803.97	23.62	0.9798	-0.0015	343.66
BF	772.67	883.89	-456.11	0.852438	1000.76	1839.55	0.00	1.0000	0.0000	360.00

Tabel 4.3 Coordonate profil secțiunea 2

Pct.	X	Y	Z	θ	Y _{desf}	X _{e/X_i}	Y _{e/Y_i}	X _{Pe/X_{Pi}}	Y _{Pe/Y_{Pi}}	Φ _{e/Φ_i}
	mm	mm	mm	grade	mm	mm	mm	[-]	[-]	grade
	Coordonate spațiale Figura 4.32			Figura 4.32	Rel. 4.4	Rel. 4.7	Rel. 4.8 Rel. 4.9	Rel. 4.1 Rel. 4.13	Rel. 4.10 Rel. 4.12	Rel. 4.15 Rel. 4.16
BF	968.73	1101.66	-463.13	0.849517	1246.24	2217.50	0.00	1.0000	0.0000	0.00
101	1005.11	1068.57	-460.16	0.81599	1197.06	2168.32	2.96	0.9813	0.0074	15.72
102	1040.43	1034.21	-451.04	0.782402	1147.78	2119.05	12.08	0.9615	0.0126	22.63
103	1074.64	998.61	-442.50	0.748742	1098.40	2069.67	20.62	0.9418	0.0180	27.92
104	1107.54	962.00	-433.11	0.715189	1049.18	2020.45	30.01	0.9220	0.0231	32.44
105	1139.10	924.42	-422.97	0.681737	1000.11	1971.37	40.16	0.9021	0.0278	36.47
106	1169.32	885.88	-412.37	0.648351	951.13	1922.39	50.76	0.8821	0.0324	40.16
107	1198.17	846.45	-401.25	0.615044	902.27	1873.53	61.88	0.8621	0.0368	43.59
108	1225.63	806.18	-389.60	0.58182	853.53	1824.79	73.52	0.8421	0.0409	46.83
109	1251.67	765.13	-377.48	0.548676	804.91	1776.17	85.65	0.8220	0.0449	49.90
110	1276.29	723.31	-364.96	0.5156	756.38	1727.65	98.17	0.8019	0.0487	52.85
111	1299.46	680.80	-352.04	0.482595	707.97	1679.23	111.09	0.7818	0.0523	55.70
112	1321.17	637.64	-338.76	0.449657	659.65	1630.91	124.37	0.7616	0.0558	58.45
113	1341.41	593.89	-325.08	0.416796	611.44	1582.70	138.05	0.7414	0.0591	61.13
114	1360.13	549.67	-310.76	0.384061	563.42	1534.68	152.37	0.7212	0.0621	63.74
115	1377.35	504.98	-296.03	0.351411	515.52	1486.78	167.10	0.7010	0.0650	66.30

Tabel 4.3 Coordonate profil secțiunea 2

Pct.	X	Y	Z	θ	Y _{desf}	X _{e/X_i}	Y _{e/Y_i}	X _{Pe/X_{Pi}}	Y _{Pe/Y_{Pi}}	φ _{e/φ_i}
	mm	mm	mm	grade	mm	mm	mm	[-]	[-]	grade
	Coordonate spațiale Figura 4.32			Figura 4.32	Rel. 4.4	Rel. 4.7	Rel. 4.8 Rel. 4.9	Rel. 4.1 Rel. 4.13	Rel. 4.10 Rel. 4.12	Rel. 4.15 Rel. 4.16
116	1393.05	459.90	-280.76	0.318877	467.79	1439.06	182.37	0.6807	0.0676	68.82
117	1407.25	414.40	-265.32	0.286379	420.12	1391.38	197.80	0.6604	0.0702	71.29
118	1419.95	368.54	-249.62	0.25394	372.53	1343.79	213.50	0.6401	0.0726	73.73
119	1431.13	322.42	-233.54	0.221589	325.07	1296.33	229.59	0.6197	0.0749	76.14
120	1440.79	276.08	-217.08	0.189325	277.74	1249.00	246.05	0.5994	0.0770	78.53
121	1448.91	229.64	-200.10	0.157186	230.59	1201.85	263.03	0.5790	0.0789	80.91
122	1455.52	183.15	-182.62	0.125172	183.63	1154.89	280.51	0.5586	0.0806	83.27
123	1460.63	136.60	-164.77	0.093254	136.80	1108.07	298.36	0.5382	0.0821	85.62
124	1464.23	90.06	-146.57	0.061427	90.11	1061.38	316.56	0.5178	0.0835	87.96
125	1466.35	43.61	-127.88	0.029732	43.62	1014.88	335.24	0.4974	0.0847	90.30
126	1467.00	-2.67	-108.68	-0.00182	-2.67	968.60	354.45	0.4770	0.0856	92.64
127	1466.19	-48.73	-88.97	-0.03323	-48.74	922.52	374.15	0.4565	0.0863	94.99
128	1463.95	-94.60	-68.92	-0.06453	-94.67	876.60	394.20	0.4361	0.0868	97.35
129	1460.27	-140.35	-48.81	-0.09582	-140.57	830.70	414.32	0.4156	0.0874	99.72
130	1455.16	-186.01	-28.80	-0.12714	-186.51	784.76	434.33	0.3952	0.0879	102.10
131	1448.66	-231.25	-8.27	-0.1583	-232.22	739.04	454.86	0.3747	0.0883	104.51
132	1440.82	-275.92	13.05	-0.18921	-277.57	693.69	476.18	0.3542	0.0883	106.95
133	1431.61	-320.29	34.43	-0.22011	-322.89	648.37	497.55	0.3338	0.0882	109.42
134	1421.10	-364.11	56.36	-0.25082	-367.95	603.31	519.49	0.3133	0.0879	111.92
135	1409.36	-407.19	79.10	-0.28126	-412.61	558.66	542.22	0.2929	0.0873	114.47
136	1396.44	-449.50	102.63	-0.31142	-456.85	514.42	565.76	0.2725	0.0863	117.07
137	1382.37	-491.06	126.83	-0.34133	-500.73	470.54	589.96	0.2520	0.0849	119.73
138	1367.20	-531.85	151.67	-0.371	-544.25	427.01	614.79	0.2316	0.0833	122.46
139	1351.00	-571.74	177.31	-0.40034	-587.30	383.96	640.44	0.2113	0.0813	125.27
140	1333.83	-610.73	203.70	-0.42938	-629.90	341.36	666.82	0.1910	0.0789	128.18
141	1315.72	-648.82	230.75	-0.45814	-672.09	299.18	693.88	0.1707	0.0762	131.20
142	1296.84	-685.79	258.81	-0.48644	-713.60	257.66	721.94	0.1505	0.0731	134.35
143	1277.45	-721.26	288.42	-0.51399	-754.03	217.23	751.54	0.1304	0.0691	137.66
144	1257.54	-755.43	319.20	-0.54095	-793.57	177.69	782.33	0.1104	0.0646	141.18
145	1237.31	-788.13	351.32	-0.56716	-832.03	139.24	814.44	0.0907	0.0594	144.95
146	1217.48	-818.43	385.94	-0.59185	-868.24	103.02	849.07	0.0713	0.0529	149.03
147	1198.00	-846.69	422.44	-0.61525	-902.57	68.70	885.57	0.0523	0.0454	153.57
148	1180.27	-871.24	462.31	-0.63589	-932.85	38.42	925.43	0.0342	0.0359	158.70
149	1164.12	-892.70	504.62	-0.65419	-959.70	11.56	967.74	0.0169	0.0249	165.06
150	1148.77	-903.36	548.07	-0.66339	-973.19	-1.93	1011.20	0.0044	0.0112	172.42
BA	1157.05	-901.84	577.39	-0.66207	-971.26	0.00	1040.52	0.0000	0.0000	180.00
152	1183.72	-866.54	554.01	-0.63191	-927.01	44.25	1017.14	0.0204	0.0010	196.43
153	1208.26	-831.99	527.26	-0.60302	-884.64	86.63	990.39	0.0407	0.0035	203.28
154	1232.11	-796.24	501.50	-0.57373	-841.66	129.61	964.63	0.0611	0.0056	208.61
155	1255.25	-759.23	476.89	-0.54397	-798.01	173.26	940.02	0.0815	0.0071	213.17
156	1277.40	-721.35	452.69	-0.51406	-754.13	217.14	915.82	0.1019	0.0084	217.23

Tabel 4.3 Coordonate profil secțiunea 2

Pct.	X	Y	Z	θ	Y _{desf}	X _{e/X_i}	Y _{e/Y_i}	X _{Pe/X_{Pi}}	Y _{Pe/Y_{Pi}}	φ _{e/φ_i}
	mm	mm	mm	grade	mm	mm	mm	[-]	[-]	grade
	Coordonate spațiale Figura 4.32			Figura 4.32	Rel. 4.4	Rel. 4.7	Rel. 4.8 Rel. 4.9	Rel. 4.1 Rel. 4.13	Rel. 4.10 Rel. 4.12	Rel. 4.15 Rel. 4.16
157	1298.42	-682.78	428.58	-0.48411	-710.19	261.07	891.71	0.1223	0.0097	220.94
158	1318.36	-643.44	404.78	-0.45405	-666.09	305.17	867.91	0.1427	0.0109	224.39
159	1337.18	-603.35	381.35	-0.42386	-621.80	349.46	844.48	0.1632	0.0119	227.65
160	1354.88	-562.49	358.36	-0.39351	-577.28	393.99	821.48	0.1836	0.0126	230.74
161	1371.39	-520.95	335.72	-0.36303	-532.57	438.70	798.84	0.2040	0.0132	233.71
162	1386.66	-478.81	313.30	-0.33248	-487.75	483.51	776.43	0.2245	0.0138	236.56
163	1400.65	-436.20	290.95	-0.30191	-442.90	528.36	754.08	0.2449	0.0142	239.33
164	1413.36	-393.06	268.86	-0.27125	-397.92	573.34	731.99	0.2654	0.0146	242.02
165	1424.78	-349.40	247.08	-0.24048	-352.79	618.47	710.21	0.2859	0.0148	244.64
166	1434.89	-305.27	225.59	-0.20962	-307.52	663.75	688.72	0.3063	0.0149	247.21
167	1443.64	-260.75	204.34	-0.17869	-262.14	709.13	667.46	0.3268	0.0149	249.73
168	1451.01	-215.97	183.07	-0.14776	-216.76	754.50	646.20	0.3472	0.0149	252.21
169	1456.99	-171.09	161.60	-0.11689	-171.48	799.78	624.73	0.3677	0.0150	254.66
170	1461.58	-125.94	140.37	-0.08595	-126.09	845.17	603.49	0.3881	0.0149	257.07
171	1464.77	-80.88	118.68	-0.05516	-80.92	890.34	581.80	0.4086	0.0151	259.47
172	1466.58	-35.05	98.49	-0.0239	-35.05	936.21	561.62	0.4291	0.0146	261.84
173	1466.96	10.46	77.52	0.007128	10.46	981.72	540.65	0.4495	0.0145	264.21
174	1465.93	56.03	56.71	0.038203	56.04	1027.31	519.84	0.4700	0.0143	266.56
175	1463.48	101.61	36.04	0.069319	101.69	1072.95	499.16	0.4904	0.0140	268.90
176	1459.62	146.99	15.15	0.100368	147.24	1118.50	478.27	0.5109	0.0138	271.25
177	1454.33	192.36	-5.46	0.131505	192.92	1164.18	457.66	0.5313	0.0135	273.59
178	1447.62	237.69	-25.75	0.162741	238.74	1210.00	437.38	0.5518	0.0131	275.95
179	1439.48	282.81	-45.97	0.193994	284.59	1255.85	417.15	0.5722	0.0126	278.31
180	1429.95	327.64	-66.23	0.225238	330.42	1301.69	396.90	0.5927	0.0121	280.68
181	1418.98	372.26	-86.22	0.256561	376.38	1347.64	376.91	0.6131	0.0116	283.08
182	1406.59	416.63	-105.93	0.287967	422.45	1393.71	357.20	0.6336	0.0108	285.50
183	1392.81	460.61	-125.61	0.319381	468.53	1439.80	337.51	0.6540	0.0101	287.94
184	1377.67	504.10	-145.35	0.350779	514.59	1485.86	317.78	0.6745	0.0094	290.42
185	1361.16	547.10	-165.10	0.382174	560.65	1531.91	298.03	0.6949	0.0087	292.95
186	1343.30	589.61	-184.72	0.413605	606.76	1578.02	278.41	0.7154	0.0080	295.52
187	1324.09	631.56	-204.27	0.445057	652.90	1624.16	258.85	0.7358	0.0072	298.14
188	1303.58	672.88	-223.82	0.476509	699.04	1670.30	239.30	0.7563	0.0065	300.83
189	1281.76	713.57	-243.31	0.507979	745.21	1716.47	219.82	0.7767	0.0056	303.60
190	1258.64	753.59	-262.66	0.539488	791.43	1762.69	200.46	0.7971	0.0048	306.46
191	1234.28	792.88	-282.00	0.571001	837.66	1808.92	181.12	0.8176	0.0039	309.43
192	1208.69	831.36	-301.38	0.602504	883.87	1855.14	161.75	0.8380	0.0031	312.54
193	1181.92	869.00	-320.80	0.633993	930.07	1901.33	142.32	0.8585	0.0022	315.80
194	1153.97	905.78	-340.22	0.665483	976.26	1947.53	122.91	0.8789	0.0014	319.27
195	1124.84	941.71	-359.50	0.697013	1022.52	1993.78	103.63	0.8993	0.0005	323.01
196	1094.54	976.77	-378.58	0.728599	1068.85	2040.12	84.55	0.9198	-0.0005	327.09
197	1063.36	1010.62	-398.38	0.759978	1114.89	2086.15	64.74	0.9402	-0.0011	331.70

Tabel 4.3 Coordonate profil secțiunea 2

Pct.	X	Y	Z	θ	Y _{desf}	X _{e/X_i}	Y _{e/Y_i}	X _{Pe/X_{Pi}}	Y _{Pe/Y_{Pi}}	φ _{e/φ_i}
	mm	mm	mm	grade	mm	mm	mm	[-]	[-]	grade
	Coordonate spațiale Figura 4.32			Figura 4.32	Rel. 4.4	Rel. 4.7	Rel. 4.8 Rel. 4.9	Rel. 4.1 Rel. 4.13	Rel. 4.10 Rel. 4.12	Rel. 4.15 Rel. 4.16
198	1031.01	1043.61	-417.78	0.791472	1161.09	2132.35	45.35	0.9607	-0.0020	337.12
199	997.47	1075.71	-436.65	0.823117	1207.51	2178.78	26.48	0.9811	-0.0031	344.19
BF	968.73	1101.66	-463.13	0.849517	1246.24	2217.50	0.00	1.0000	0.0000	360.00

Tabel 4.4 Coordonate profil secțiunea 3

Pct.	X	Y	Z	θ	Y _{desf}	X _{e/X_i}	Y _{e/Y_i}	X _{Pe/X_{Pi}}	Y _{Pe/Y_{Pi}}	φ _{e/φ_i}
	mm	mm	mm	grade	mm	mm	mm	[-]	[-]	grade
	Coordonate spațiale Figura 4.32			Figura 4.32	Rel. 4.4	Rel. 4.7	Rel. 4.8 Rel. 4.9	Rel. 4.1 Rel. 4.13	Rel. 4.10 Rel. 4.12	Rel. 4.15 Rel. 4.16
BF	1160.95	1324.13	-464.24	0.850965	1498.55	2641.97	0.00	1.0000	0.0000	0.00
201	1202.69	1286.34	-461.05	0.818994	1442.25	2585.67	3.18	0.9810	0.0061	15.84
202	1243.19	1247.24	-450.61	0.787023	1385.95	2529.36	13.63	0.9611	0.0097	22.75
203	1282.33	1206.96	-439.44	0.755131	1329.79	2473.20	24.80	0.9411	0.0131	28.08
204	1320.11	1165.51	-427.90	0.723282	1273.70	2417.12	36.34	0.9212	0.0164	32.61
205	1356.44	1123.02	-415.52	0.691534	1217.79	2361.21	48.71	0.9012	0.0194	36.65
206	1391.29	1079.55	-402.29	0.659897	1162.08	2305.49	61.94	0.8811	0.0221	40.34
207	1424.71	1035.05	-388.84	0.62829	1106.42	2249.84	75.40	0.8610	0.0246	43.78
208	1456.64	989.61	-374.88	0.596754	1050.88	2194.30	89.35	0.8409	0.0271	47.01
209	1486.96	943.43	-359.84	0.56538	995.63	2139.05	104.40	0.8208	0.0291	50.09
210	1515.75	896.44	-344.29	0.534086	940.52	2083.94	119.95	0.8006	0.0309	53.04
211	1543.07	848.56	-328.82	0.502777	885.39	2028.81	135.41	0.7805	0.0328	55.88
212	1568.85	799.90	-313.12	0.471507	830.32	1973.74	151.12	0.7603	0.0345	58.63
213	1593.06	750.51	-297.20	0.440272	775.32	1918.74	167.04	0.7401	0.0362	61.30
214	1615.74	700.36	-281.41	0.409015	720.28	1863.69	182.83	0.7199	0.0380	63.90
215	1636.83	649.54	-265.55	0.37777	665.25	1808.67	198.68	0.6998	0.0397	66.45
216	1656.30	598.16	-249.46	0.346565	610.30	1753.72	214.78	0.6796	0.0413	68.95
217	1674.18	546.12	-233.61	0.315318	555.28	1698.69	230.63	0.6594	0.0430	71.41
218	1690.42	493.57	-217.67	0.284086	500.28	1643.69	246.56	0.6393	0.0447	73.83
219	1704.96	440.71	-201.18	0.252947	445.44	1588.86	263.06	0.6191	0.0462	76.22
220	1717.85	387.44	-184.57	0.221829	390.64	1534.06	279.67	0.5989	0.0476	78.59
221	1729.06	333.90	-167.67	0.19076	335.93	1479.35	296.57	0.5787	0.0490	80.95
222	1738.61	279.92	-151.11	0.159632	281.11	1424.53	313.13	0.5585	0.0504	83.28
223	1746.47	225.75	-134.30	0.128549	226.37	1369.79	329.94	0.5383	0.0518	85.61
224	1752.60	171.84	-116.00	0.097738	172.12	1315.53	348.24	0.5181	0.0526	87.93
225	1757.06	117.80	-97.61	0.066944	117.89	1261.30	366.63	0.4978	0.0534	90.25
226	1759.85	63.69	-79.08	0.036176	63.71	1207.12	385.16	0.4776	0.0541	92.57
227	1760.97	9.68	-60.10	0.005497	9.68	1153.10	404.13	0.4574	0.0547	94.89
228	1760.45	-44.17	-40.65	-0.02509	-44.18	1099.24	423.59	0.4371	0.0551	97.22
229	1758.28	-97.86	-20.87	-0.0556	-97.91	1045.50	443.37	0.4169	0.0553	99.57
230	1754.49	-151.29	-0.63	-0.08602	-151.48	991.94	463.61	0.3967	0.0554	101.93
231	1749.09	-204.46	19.92	-0.11637	-204.93	938.49	484.16	0.3764	0.0554	104.31

Tabel 4.4 Coordonate profil secțiunea 3

Pct.	X	Y	Z	θ	Y _{desf}	X _{e/X_i}	Y _{e/Y_i}	X _{Pe/X_{Pi}}	Y _{Pe/Y_{Pi}}	φ _{e/φ_i}
	mm	mm	mm	grade	mm	mm	mm	[-]	[-]	grade
	Coordonate spațiale Figura 4.32			Figura 4.32	Rel. 4.4	Rel. 4.7	Rel. 4.8 Rel. 4.9	Rel. 4.1 Rel. 4.13	Rel. 4.10 Rel. 4.12	Rel. 4.15 Rel. 4.16
232	1742.09	-257.36	40.70	-0.14667	-258.28	885.13	504.94	0.3562	0.0552	106.72
233	1733.52	-309.86	61.89	-0.17688	-311.48	831.93	526.12	0.3359	0.0550	109.16
234	1723.42	-361.89	83.57	-0.20698	-364.48	778.93	547.80	0.3157	0.0545	111.63
235	1711.76	-413.53	105.38	-0.23704	-417.43	725.99	569.62	0.2955	0.0540	114.15
236	1698.54	-464.83	127.12	-0.26712	-470.40	673.01	591.35	0.2752	0.0535	116.72
237	1683.85	-515.52	149.33	-0.29709	-523.18	620.24	613.57	0.2550	0.0529	119.34
238	1667.78	-565.37	172.46	-0.32684	-575.56	567.85	636.70	0.2348	0.0518	122.04
239	1650.31	-614.49	196.16	-0.35644	-627.69	515.72	660.39	0.2146	0.0506	124.81
240	1631.50	-662.83	220.39	-0.3859	-679.57	463.85	684.63	0.1944	0.0491	127.68
241	1611.55	-709.95	246.10	-0.41496	-730.74	412.68	710.33	0.1742	0.0471	130.66
242	1590.58	-755.75	273.31	-0.44356	-781.12	362.30	737.55	0.1542	0.0445	133.76
243	1568.62	-800.35	301.73	-0.47179	-830.83	312.59	765.97	0.1342	0.0414	137.03
244	1545.79	-843.59	331.53	-0.49956	-879.73	263.69	795.76	0.1143	0.0377	140.49
245	1521.60	-886.48	360.74	-0.52753	-928.97	214.44	824.98	0.0943	0.0343	144.23
246	1496.61	-928.04	391.16	-0.55506	-977.47	165.95	855.40	0.0744	0.0304	148.33
247	1471.75	-966.98	424.99	-0.5813	-1023.67	119.75	889.22	0.0549	0.0251	152.89
248	1446.57	-1004.26	460.38	-0.60685	-1068.66	74.76	924.62	0.0356	0.0191	158.25
249	1423.89	-1044.17	502.13	-0.63471	-1117.72	25.70	966.37	0.0141	0.0115	166.35
BA	1402.65	-1064.75	546.75	-0.6493	-1143.42	0.00	1010.99	0.0000	0.0000	180.00
251	1422.15	-1038.56	559.62	-0.63076	-1110.77	32.65	1023.86	0.0092	-0.0084	190.98
252	1451.63	-996.94	533.61	-0.60179	-1059.76	83.66	997.85	0.0293	-0.0062	199.71
253	1480.16	-954.06	508.59	-0.57255	-1008.25	135.16	972.82	0.0494	-0.0045	205.70
254	1507.65	-910.01	484.45	-0.54306	-956.33	187.09	948.69	0.0696	-0.0031	210.60
255	1533.91	-865.00	460.72	-0.51347	-904.21	239.20	924.96	0.0898	-0.0018	214.88
256	1558.87	-819.17	437.15	-0.48383	-852.03	291.39	901.39	0.1101	-0.0006	218.75
257	1582.49	-772.55	413.75	-0.45415	-799.76	343.65	877.99	0.1303	0.0005	222.31
258	1604.77	-725.16	390.60	-0.42441	-747.39	396.02	854.84	0.1505	0.0015	225.65
259	1625.68	-676.96	367.83	-0.39458	-694.85	448.57	832.07	0.1707	0.0024	228.81
260	1645.22	-627.98	345.51	-0.36463	-642.12	501.30	809.75	0.1909	0.0031	231.82
261	1663.33	-578.32	323.49	-0.33462	-589.26	554.16	787.73	0.2112	0.0037	234.71
262	1679.96	-528.07	301.67	-0.30455	-536.32	607.10	765.90	0.2314	0.0042	237.51
263	1695.08	-477.31	279.90	-0.27448	-483.36	660.06	744.13	0.2516	0.0047	240.22
264	1708.69	-426.01	258.40	-0.24434	-430.28	713.14	722.64	0.2719	0.0051	242.86
265	1720.79	-374.18	237.28	-0.21412	-377.06	766.36	701.52	0.2921	0.0054	245.43
266	1731.33	-321.89	216.47	-0.18382	-323.71	819.70	680.70	0.3124	0.0055	247.96
267	1740.29	-269.28	195.73	-0.15351	-270.34	873.08	659.96	0.3326	0.0056	250.44
268	1747.64	-216.47	174.84	-0.12324	-217.02	926.40	639.08	0.3528	0.0057	252.88
269	1753.41	-163.36	154.23	-0.0929	-163.60	979.82	618.47	0.3731	0.0058	255.30
270	1757.55	-110.11	133.60	-0.06257	-110.18	1033.24	597.84	0.3933	0.0059	257.68
271	1760.08	-56.84	112.75	-0.03228	-56.85	1086.57	576.99	0.4136	0.0060	260.05

Tabel 4.4 Coordonate profil secțiunea 3

Pct.	X	Y	Z	θ	Y _{desf}	X _{e/X_i}	Y _{e/Y_i}	X _{Pe/X_{Pi}}	Y _{Pe/Y_{Pi}}	φ _{e/φ_i}
	mm	mm	mm	grade	mm	mm	mm	[-]	[-]	grade
	Coordonate spațiale Figura 4.32			Figura 4.32	Rel. 4.4	Rel. 4.7	Rel. 4.8 Rel. 4.9	Rel. 4.1 Rel. 4.13	Rel. 4.10 Rel. 4.12	Rel. 4.15 Rel. 4.16
272	1761.00	-3.50	91.94	-0.00199	-3.50	1139.91	556.17	0.4338	0.0061	262.39
273	1760.29	49.93	71.36	0.028356	49.93	1193.35	535.59	0.4541	0.0062	264.73
274	1757.96	103.38	50.96	0.05874	103.44	1246.86	515.20	0.4743	0.0062	267.05
275	1754.01	156.80	30.72	0.089157	157.01	1300.42	494.95	0.4945	0.0061	269.37
276	1748.42	210.09	10.52	0.119585	210.59	1354.01	474.76	0.5148	0.0060	271.69
277	1741.22	263.21	-9.58	0.150031	264.20	1407.62	454.65	0.5350	0.0058	274.02
278	1732.38	316.17	-29.49	0.18052	317.90	1461.31	434.75	0.5553	0.0056	276.35
279	1721.93	368.90	-49.22	0.211046	371.65	1515.07	415.02	0.5755	0.0054	278.69
280	1709.86	421.32	-68.85	0.241591	425.44	1568.86	395.38	0.5958	0.0050	281.04
281	1696.19	473.36	-88.42	0.27215	479.26	1622.67	375.81	0.6160	0.0047	283.41
282	1680.93	524.97	-107.99	0.302711	533.07	1676.49	356.25	0.6362	0.0044	285.81
283	1664.11	576.08	-127.56	0.333269	586.89	1730.30	336.68	0.6565	0.0040	288.24
284	1645.72	626.68	-147.08	0.363838	640.72	1784.14	317.16	0.6767	0.0037	290.70
285	1625.79	676.71	-166.52	0.394424	694.58	1838.00	297.72	0.6969	0.0033	293.20
286	1604.33	726.11	-185.97	0.425007	748.44	1891.85	278.26	0.7172	0.0029	295.75
287	1581.40	774.79	-205.53	0.455568	802.26	1945.67	258.71	0.7374	0.0026	298.35
288	1556.99	822.75	-225.10	0.486128	856.07	1999.49	239.14	0.7577	0.0022	301.02
289	1531.09	869.99	-244.51	0.516719	909.94	2053.36	219.73	0.7779	0.0018	303.77
290	1503.74	916.45	-263.79	0.547336	963.86	2107.28	200.44	0.7981	0.0014	306.60
291	1474.99	962.05	-283.09	0.577951	1017.77	2161.19	181.14	0.8184	0.0009	309.55
292	1444.88	1006.70	-302.54	0.608535	1071.63	2215.05	161.69	0.8386	0.0006	312.63
293	1413.46	1050.36	-322.17	0.639082	1125.42	2268.84	142.07	0.8589	0.0002	315.87
294	1380.70	1093.07	-341.71	0.669647	1179.25	2322.66	122.53	0.8791	-0.0001	319.31
295	1346.62	1134.79	-361.13	0.700237	1233.12	2376.53	103.11	0.8993	-0.0005	323.00
296	1311.28	1175.44	-380.54	0.730829	1286.99	2430.41	83.70	0.9196	-0.0009	327.05
297	1274.74	1214.98	-400.05	0.7614	1340.83	2484.24	64.19	0.9398	-0.0013	331.60
298	1237.08	1253.30	-419.85	0.791912	1394.56	2537.97	44.39	0.9601	-0.0015	336.94
299	1198.12	1290.59	-439.09	0.822536	1448.49	2591.90	25.15	0.9803	-0.0020	343.86
300	1160.95	1324.13	-464.24	0.850965	1498.55	2641.97	0.00	1.0000	0.0000	360.00

Tabel 4.5 Coordonate profil secțiunea 4

Pct.	X	Y	Z	θ	Y _{desf}	X _{e/X_i}	Y _{e/Y_i}	X _{Pe/X_{Pi}}	Y _{Pe/Y_{Pi}}	φ _{e/φ_i}
	mm	mm	mm	grade	mm	mm	mm	[-]	[-]	grade
	Coordonate spațiale Figura 4.32			Figura 4.32	Rel. 4.4	Rel. 4.7	Rel. 4.8 Rel. 4.9	Rel. 4.1 Rel. 4.13	Rel. 4.10 Rel. 4.12	Rel. 4.15 Rel. 4.16
BF	1367.82	1545.69	-467.66	0.851892	1749.79	3053.84	0.00	1.0000	0.0000	0.00
399	1414.56	1503.04	-460.54	0.820904	1686.14	2990.19	7.12	0.9805	0.0041	16.05
398	1459.62	1459.32	-445.11	0.790174	1623.02	2927.07	22.55	0.9604	0.0057	22.96
397	1503.43	1414.14	-430.27	0.759395	1559.80	2863.85	37.39	0.9403	0.0075	28.29
396	1545.98	1367.50	-416.31	0.728531	1496.40	2800.46	51.35	0.9202	0.0096	32.82

Tabel 4.5 Coordonate profil secțiunea 4

Pct.	X	Y	Z	θ	Y _{desf}	X _{e/X_i}	Y _{e/Y_i}	X _{P_e/X_{P_i}}	Y _{P_e/Y_{P_i}}	φ _{e/φ_i}
	mm	mm	mm	grade	mm	mm	mm	[-]	[-]	grade
	Coordonate spațiale Figura 4.32				Figura 4.32	Rel. 4.4	Rel. 4.7	Rel. 4.8 Rel. 4.9	Rel. 4.1 Rel. 4.13	Rel. 4.10 Rel. 4.12
395	1586.91	1319.78	-401.22	0.69781	1433.30	2737.36	66.44	0.9001	0.0113	36.85
394	1626.36	1270.85	-386.06	0.66711	1370.24	2674.30	81.60	0.8800	0.0130	40.53
393	1664.31	1220.72	-370.97	0.636413	1307.19	2611.25	96.69	0.8599	0.0147	43.96
392	1700.65	1169.57	-355.33	0.605791	1244.30	2548.35	112.33	0.8398	0.0162	47.18
391	1735.35	1117.43	-339.31	0.575226	1181.52	2485.57	128.35	0.8197	0.0176	50.25
390	1768.52	1064.15	-323.74	0.544615	1118.64	2422.69	143.92	0.7997	0.0192	53.18
389	1799.99	1010.02	-307.61	0.514079	1055.92	2359.97	160.05	0.7796	0.0205	56.00
388	1829.73	955.09	-290.92	0.483622	993.36	2297.42	176.74	0.7595	0.0217	58.74
387	1857.82	899.22	-274.47	0.45314	930.75	2234.81	193.19	0.7394	0.0230	61.39
386	1884.25	842.43	-258.46	0.422608	868.04	2172.09	209.20	0.7193	0.0244	63.98
385	1908.90	784.98	-241.95	0.392145	805.47	2109.52	225.72	0.6993	0.0256	66.51
384	1931.75	726.94	-224.92	0.361752	743.04	2047.09	242.74	0.6792	0.0267	69.00
383	1952.84	668.21	-207.99	0.331351	680.60	1984.65	259.67	0.6591	0.0278	71.45
382	1972.17	608.80	-191.31	0.30092	618.09	1922.15	276.35	0.6390	0.0290	73.86
381	1989.67	548.93	-174.29	0.270538	555.68	1859.74	293.37	0.6189	0.0301	76.24
380	2005.32	488.66	-156.87	0.240212	493.40	1797.45	310.79	0.5988	0.0310	78.60
379	2019.16	427.89	-139.68	0.209857	431.05	1735.10	327.99	0.5788	0.0320	80.94
378	2031.15	366.80	-122.22	0.17954	368.78	1672.83	345.44	0.5587	0.0329	83.26
377	2041.27	305.50	-104.30	0.149289	306.64	1610.69	363.36	0.5386	0.0337	85.57
376	2049.54	243.89	-86.51	0.11902	244.47	1548.52	381.15	0.5185	0.0345	87.88
375	2055.95	182.15	-68.42	0.088797	182.39	1486.44	399.25	0.4984	0.0353	90.18
374	2060.48	120.48	-49.51	0.058691	120.55	1424.61	418.15	0.4783	0.0357	92.48
373	2063.17	58.70	-30.63	0.028583	58.71	1362.76	437.03	0.4582	0.0362	94.79
372	2064.00	-3.04	-11.44	-0.00148	-3.04	1301.02	456.22	0.4381	0.0366	97.11
371	2062.99	-64.62	8.24	-0.03147	-64.63	1239.43	475.90	0.4180	0.0368	99.44
370	2060.14	-126.11	28.01	-0.06144	-126.19	1177.86	495.67	0.3979	0.0370	101.78
369	2055.48	-187.32	48.34	-0.09132	-187.58	1116.48	516.00	0.3778	0.0369	104.14
368	2049.02	-248.23	69.04	-0.12115	-248.84	1055.22	536.70	0.3577	0.0368	106.53
367	2040.75	-308.94	89.69	-0.15098	-310.12	993.94	557.36	0.3376	0.0367	108.95
366	2030.74	-369.05	111.29	-0.18066	-371.07	932.99	578.96	0.3175	0.0363	111.40
365	2019.00	-428.66	133.42	-0.21024	-431.84	872.22	601.08	0.2974	0.0357	113.90
364	2005.46	-488.08	155.02	-0.23992	-492.80	811.26	622.68	0.2773	0.0353	116.45
363	1990.18	-547.06	176.70	-0.26959	-553.74	750.32	644.36	0.2572	0.0348	119.05
362	1973.25	-605.28	199.14	-0.29913	-614.40	689.65	666.80	0.2371	0.0341	121.72
361	1954.64	-662.94	221.72	-0.32864	-675.02	629.03	689.38	0.2170	0.0334	124.47
360	1934.39	-719.88	244.72	-0.35808	-735.49	568.56	712.38	0.1969	0.0325	127.31
359	1912.62	-775.89	268.58	-0.38736	-795.63	508.42	736.24	0.1769	0.0313	130.26
358	1889.36	-830.91	293.31	-0.41647	-855.43	448.63	760.97	0.1568	0.0299	133.35
357	1864.62	-885.03	318.61	-0.44547	-915.00	389.06	786.27	0.1367	0.0282	136.59
356	1838.57	-937.94	345.11	-0.47422	-974.04	330.01	812.77	0.1167	0.0262	140.04
355	1811.28	-989.63	372.75	-0.50272	-1032.58	271.48	840.41	0.0968	0.0237	143.75

Tabel 4.5 Coordonate profil secțiunea 4

Pct.	X	Y	Z	θ	Y _{desf}	X _{e/X_i}	Y _{e/Y_i}	X _{P_e/X_{P_i}}	Y _{P_e/Y_{P_i}}	φ _{e/φ_i}
	mm	mm	mm	grade	mm	mm	mm	[-]	[-]	grade
	Coordonate spațiale Figura 4.32				Figura 4.32	Rel. 4.4	Rel. 4.7	Rel. 4.8 Rel. 4.9	Rel. 4.1 Rel. 4.13	Rel. 4.10 Rel. 4.12
354	1782.45	-1040.66	400.06	-0.5313	-1091.28	212.77	867.72	0.0768	0.0214	147.83
353	1752.25	-1090.73	427.64	-0.55981	-1149.86	154.20	895.30	0.0568	0.0190	152.43
352	1722.06	-1137.81	460.04	-0.5871	-1205.90	98.16	927.70	0.0371	0.0149	157.80
351	1692.41	-1181.46	497.37	-0.61285	-1258.79	45.26	965.03	0.0178	0.0091	164.66
BA	1666.16	-1218.20	543.04	-0.63489	-1304.06	0.00	1010.70	0.0000	0.0000	180.00
349	1695.97	-1186.35	541.70	-0.61576	-1264.77	39.28	1009.37	0.0117	-0.0034	192.43
348	1729.02	-1127.21	515.76	-0.58091	-1193.19	110.87	983.43	0.0354	-0.0028	201.68
347	1761.51	-1075.72	494.03	-0.55121	-1132.19	171.86	961.69	0.0555	-0.0023	207.25
346	1792.64	-1023.00	473.24	-0.52135	-1070.86	233.19	940.90	0.0756	-0.0022	211.93
345	1821.92	-969.91	450.79	-0.49179	-1010.14	293.92	918.45	0.0958	-0.0015	216.05
344	1849.46	-916.30	427.36	-0.46241	-949.79	354.26	895.02	0.1159	-0.0005	219.80
343	1875.37	-862.02	403.64	-0.43309	-889.57	414.48	871.30	0.1359	0.0007	223.27
342	1899.79	-806.79	380.53	-0.40366	-829.13	474.93	848.19	0.1560	0.0016	226.53
341	1922.68	-750.59	358.22	-0.37409	-768.39	535.67	825.88	0.1761	0.0022	229.63
340	1943.97	-693.60	336.31	-0.34445	-707.51	596.55	803.97	0.1963	0.0027	232.59
339	1963.59	-635.93	314.64	-0.31478	-646.55	657.50	782.30	0.2164	0.0032	235.44
338	1981.54	-577.58	293.35	-0.28504	-585.47	718.58	761.01	0.2365	0.0035	238.19
337	1997.78	-518.61	272.36	-0.25525	-524.29	779.77	740.02	0.2566	0.0037	240.87
336	2012.28	-459.16	251.50	-0.22545	-463.07	840.99	719.16	0.2767	0.0039	243.47
335	2025.01	-399.31	230.58	-0.19565	-401.87	902.18	698.24	0.2968	0.0041	246.02
334	2035.95	-339.13	209.63	-0.16587	-340.69	963.37	677.29	0.3169	0.0043	248.52
333	2045.11	-278.59	188.86	-0.13605	-279.45	1024.61	656.52	0.3370	0.0045	250.97
332	2052.49	-217.70	168.40	-0.10619	-218.11	1085.95	636.06	0.3571	0.0045	253.39
331	2058.05	-156.61	147.97	-0.07632	-156.76	1147.30	615.63	0.3772	0.0045	255.78
330	2061.79	-95.45	127.30	-0.04649	-95.49	1208.57	594.96	0.3973	0.0046	258.15
329	2063.72	-34.06	107.09	-0.01658	-34.07	1269.99	574.75	0.4174	0.0046	260.49
328	2063.82	27.36	86.90	0.013321	27.36	1331.42	554.56	0.4375	0.0046	262.82
327	2062.09	88.80	66.84	0.043248	88.83	1392.89	534.50	0.4576	0.0045	265.13
326	2058.52	150.31	47.23	0.073246	150.45	1454.50	514.90	0.4777	0.0043	267.44
325	2053.11	211.75	27.81	0.103275	212.13	1516.18	495.48	0.4978	0.0040	269.75
324	2045.87	272.97	8.32	0.133292	273.78	1577.84	475.98	0.5179	0.0037	272.05
323	2036.82	333.88	-11.41	0.163274	335.36	1639.42	456.25	0.5380	0.0035	274.36
322	2025.96	394.46	-31.22	0.193246	396.93	1700.98	436.44	0.5581	0.0033	276.67
321	2013.29	454.73	-50.92	0.223236	458.53	1762.58	416.75	0.5782	0.0031	279.00
320	1998.81	514.63	-70.47	0.253251	520.18	1824.23	397.19	0.5983	0.0029	281.34
319	1982.54	574.12	-89.91	0.283286	581.87	1885.93	377.76	0.6184	0.0026	283.70
318	1964.51	633.10	-109.32	0.313328	643.58	1947.63	358.34	0.6385	0.0023	286.08
317	1944.72	691.50	-128.75	0.34337	705.28	2009.34	338.91	0.6586	0.0020	288.50
316	1923.19	749.29	-148.21	0.373411	766.99	2071.04	319.45	0.6787	0.0017	290.95
315	1899.96	806.39	-167.71	0.403451	828.69	2132.74	299.95	0.6989	0.0014	293.44
314	1875.03	862.77	-187.22	0.433492	890.39	2194.45	280.44	0.7190	0.0012	295.97

Tabel 4.5 Coordonate profil secțiunea 4

Pct.	X	Y	Z	θ	Y _{desf}	X _{e/X_i}	Y _{e/Y_i}	X _{Pe/X_{Pi}}	Y _{Pe/Y_{Pi}}	φ _{e/φ_i}
	mm	mm	mm	grade	mm	mm	mm	[-]	[-]	grade
	Coordonate spațiale Figura 4.32				Figura 4.32	Rel. 4.4	Rel. 4.7	Rel. 4.8 Rel. 4.9	Rel. 4.1 Rel. 4.13	Rel. 4.10 Rel. 4.12
313	1848.42	918.38	-206.71	0.463541	952.11	2256.17	260.95	0.7391	0.0009	298.57
312	1820.17	973.18	-226.20	0.493597	1013.85	2317.90	241.46	0.7592	0.0006	301.23
311	1790.28	1027.13	-245.61	0.523671	1075.62	2379.68	222.05	0.7793	0.0003	303.97
310	1758.78	1080.18	-264.93	0.553765	1137.43	2441.49	202.73	0.7995	0.0000	306.79
309	1725.71	1132.26	-284.31	0.583857	1199.24	2503.30	183.35	0.8196	-0.0003	309.73
308	1691.12	1183.31	-303.75	0.613949	1261.05	2565.11	163.91	0.8397	-0.0006	312.80
307	1655.06	1233.24	-323.42	0.644013	1322.80	2626.86	144.24	0.8599	-0.0009	316.04
306	1617.54	1282.05	-343.18	0.674074	1384.55	2688.60	124.48	0.8800	-0.0011	319.47
305	1578.51	1329.81	-362.60	0.7042	1446.43	2750.48	105.06	0.9002	-0.0014	323.17
304	1538.04	1376.42	-381.85	0.734364	1508.38	2812.44	85.81	0.9204	-0.0017	327.22
303	1496.28	1421.70	-401.51	0.764448	1570.24	2874.30	66.16	0.9405	-0.0020	331.78
302	1453.09	1465.82	-420.68	0.794685	1632.28	2936.34	46.99	0.9607	-0.0024	337.14
301	1408.49	1508.72	-439.42	0.824973	1694.49	2998.55	28.24	0.9809	-0.0029	344.12
300	1367.82	1545.69	-467.66	0.851892	1749.79	3053.84	0.00	1.0000	0.0000	360.00

Tabel 4.6 Coordonate profil secțiunea 5

Pct.	X	Y	Z	θ	Y _{desf}	X _{e/X_i}	Y _{e/Y_i}	X _{Pe/X_{Pi}}	Y _{Pe/Y_{Pi}}	φ _{e/φ_i}
	mm	mm	mm	grade	mm	mm	mm	[-]	[-]	grade
	Coordonate spațiale Figura 4.32				Figura 4.32	Rel. 4.4	Rel. 4.7	Rel. 4.8 Rel. 4.9	Rel. 4.1 Rel. 4.13	Rel. 4.10 Rel. 4.12
BF	1549.91	1753.10	-465.19	0.843232	1979.49	3430.36	0.00	1.0000	0.0000	0.00
401	1600.53	1707.02	-461.64	0.814182	1911.29	3362.16	3.55	0.9814	0.0044	15.68
402	1650.92	1658.34	-445.82	0.784436	1841.46	3292.33	19.38	0.9614	0.0056	22.66
403	1700.07	1607.91	-431.64	0.754529	1771.26	3222.13	33.55	0.9414	0.0073	28.01
404	1747.39	1556.35	-415.48	0.724793	1701.45	3152.32	49.71	0.9214	0.0084	32.56
405	1793.22	1503.32	-399.75	0.695007	1631.53	3082.40	65.45	0.9014	0.0097	36.60
406	1837.35	1449.05	-383.43	0.66527	1561.72	3012.59	81.77	0.8814	0.0108	40.30
407	1879.87	1393.45	-367.28	0.635509	1491.86	2942.73	97.91	0.8613	0.0119	43.73
408	1920.69	1336.61	-351.06	0.605748	1421.99	2872.87	114.13	0.8413	0.0130	46.96
409	1959.69	1278.76	-333.96	0.576072	1352.33	2803.20	131.24	0.8212	0.0139	50.03
410	1996.90	1219.83	-316.58	0.546419	1282.72	2733.59	148.62	0.8012	0.0147	52.96
411	2032.43	1159.67	-299.94	0.516685	1212.92	2663.79	165.26	0.7811	0.0157	55.79
412	2066.02	1098.70	-282.21	0.487061	1143.38	2594.25	182.99	0.7610	0.0164	58.53
413	2097.84	1036.67	-264.90	0.457387	1073.72	2524.59	200.29	0.7410	0.0172	61.19
414	2127.73	973.84	-247.05	0.427769	1004.19	2455.06	218.14	0.7209	0.0178	63.78
415	2155.81	909.99	-229.89	0.398073	934.48	2385.35	235.30	0.7008	0.0187	66.32
416	2181.92	845.46	-212.17	0.368435	864.90	2315.77	253.02	0.6807	0.0194	68.81
417	2206.08	780.27	-194.11	0.33883	795.40	2246.28	271.08	0.6606	0.0200	71.26
418	2228.30	714.33	-176.28	0.309199	725.85	2176.72	288.92	0.6406	0.0206	73.67
419	2248.55	647.79	-158.34	0.279577	656.31	2107.18	306.85	0.6205	0.0212	76.06

Tabel 4.6 Coordonate profil secțiunea 5

Pct.	X	Y	Z	θ	Y _{desf}	X _{e/X_i}	Y _{e/Y_i}	X _{Pe/X_{Pi}}	Y _{Pe/Y_{Pi}}	Φ _{e/Φ_i}
	mm	mm	mm	grade	mm	mm	mm	[-]	[-]	grade
	Coordonate spațiale Figura 4.32			Figura 4.32	Rel. 4.4	Rel. 4.7	Rel. 4.8 Rel. 4.9	Rel. 4.1 Rel. 4.13	Rel. 4.10 Rel. 4.12	Rel. 4.15 Rel. 4.16
420	2266.82	580.64	-140.53	0.24994	586.73	2037.61	324.67	0.6004	0.0219	78.42
421	2283.08	512.97	-122.79	0.220293	517.14	1968.01	342.40	0.5803	0.0226	80.76
422	2297.31	444.95	-104.58	0.190697	447.66	1898.53	360.62	0.5602	0.0231	83.08
423	2309.51	376.52	-86.48	0.161087	378.15	1829.02	378.72	0.5401	0.0237	85.40
424	2319.64	307.98	-67.54	0.131572	308.87	1759.74	397.65	0.5200	0.0241	87.71
425	2327.77	238.90	-49.59	0.101946	239.32	1690.19	415.60	0.4999	0.0247	90.01
426	2333.83	169.79	-30.99	0.072392	169.94	1620.81	434.21	0.4798	0.0251	92.31
427	2337.83	100.66	-11.91	0.042891	100.69	1551.56	453.28	0.4597	0.0254	94.62
428	2339.79	31.46	7.25	0.013401	31.46	1482.33	472.45	0.4396	0.0257	96.94
429	2339.70	-37.72	26.59	-0.01607	-37.72	1413.15	491.78	0.4195	0.0259	99.26
430	2337.56	-106.83	46.06	-0.04552	-106.87	1344.00	511.26	0.3994	0.0261	101.61
431	2333.41	-175.47	66.83	-0.07482	-175.63	1275.24	532.02	0.3793	0.0259	103.97
432	2327.24	-244.08	87.16	-0.10416	-244.52	1206.35	552.36	0.3592	0.0259	106.35
433	2319.07	-312.24	108.31	-0.13341	-313.17	1137.70	573.51	0.3391	0.0256	108.77
434	2308.94	-380.00	129.89	-0.16259	-381.68	1069.19	595.08	0.3190	0.0251	111.22
435	2296.81	-447.50	151.25	-0.1918	-450.26	1000.61	616.44	0.2989	0.0248	113.71
436	2282.74	-514.51	172.97	-0.22097	-518.72	932.15	638.16	0.2788	0.0243	116.25
437	2266.73	-580.99	194.96	-0.25009	-587.09	863.78	660.15	0.2587	0.0238	118.85
438	2248.79	-646.96	217.00	-0.27921	-655.44	795.43	682.19	0.2386	0.0232	121.51
439	2228.92	-712.40	238.96	-0.30834	-723.82	727.05	704.16	0.2186	0.0226	124.26
440	2207.17	-777.18	261.12	-0.33743	-792.12	658.75	726.32	0.1985	0.0220	127.09
441	2183.54	-841.28	283.30	-0.36653	-860.42	590.45	748.49	0.1784	0.0214	130.03
442	2158.15	-904.43	306.25	-0.39551	-928.45	522.42	771.44	0.1583	0.0206	133.11
443	2131.13	-966.37	330.61	-0.42427	-995.98	454.89	795.80	0.1382	0.0194	136.34
444	2102.26	-1027.67	354.44	-0.45312	-1063.70	387.17	819.64	0.1182	0.0183	139.78
445	2071.77	-1087.82	379.18	-0.48182	-1131.08	319.79	844.37	0.0981	0.0169	143.49
446	2039.61	-1147.00	404.16	-0.51049	-1198.37	252.50	869.35	0.0781	0.0154	147.54
447	2005.92	-1204.95	429.96	-0.53901	-1265.34	185.53	895.15	0.0581	0.0138	152.10
448	1970.89	-1261.43	457.16	-0.56729	-1331.72	119.15	922.36	0.0381	0.0117	157.48
449	1936.25	-1313.97	491.72	-0.59406	-1394.57	56.31	956.91	0.0185	0.0073	164.35
BA	1904.03	-1360.25	535.31	-0.61805	-1450.87	0.00	1000.50	0.0000	0.0000	180.00
451	1937.56	-1322.04	530.64	-0.59822	-1404.31	46.56	995.84	0.0129	-0.0024	193.03
452	1974.78	-1255.33	507.03	-0.56422	-1324.50	126.38	972.23	0.0362	-0.0023	201.93
453	2010.85	-1196.70	486.53	-0.53492	-1255.73	195.14	951.72	0.0562	-0.0022	207.44
454	2045.02	-1137.31	464.98	-0.50577	-1187.28	263.59	930.17	0.0763	-0.0018	212.08
455	2077.36	-1077.12	442.81	-0.47668	-1119.02	331.85	908.01	0.0964	-0.0012	216.18
456	2107.90	-1016.04	420.53	-0.44762	-1050.78	400.09	885.72	0.1165	-0.0005	219.91
457	2136.67	-954.06	398.40	-0.41853	-982.49	468.38	863.60	0.1366	0.0001	223.38
458	2163.67	-891.14	376.65	-0.38938	-914.07	536.80	841.85	0.1566	0.0006	226.63
459	2188.84	-827.39	355.16	-0.3602	-845.56	605.31	820.35	0.1767	0.0010	229.72
460	2212.12	-762.96	333.58	-0.33102	-777.07	673.80	798.77	0.1968	0.0014	232.67

Tabel 4.6 Coordonate profil secțiunea 5

Pct.	X	Y	Z	θ	Y _{desf}	X _{e/X_i}	Y _{e/Y_i}	X _{Pe/X_{Pi}}	Y _{Pe/Y_{Pi}}	Φ _{e/Φ_i}
	mm	mm	mm	grade	mm	mm	mm	[-]	[-]	grade
	Coordonate spațiale Figura 4.32			Figura 4.32	Rel. 4.4	Rel. 4.7	Rel. 4.8 Rel. 4.9	Rel. 4.1 Rel. 4.13	Rel. 4.10 Rel. 4.12	Rel. 4.15 Rel. 4.16
461	2233.52	-697.83	312.13	-0.30183	-708.54	742.33	777.32	0.2169	0.0018	235.52
462	2253.04	-632.00	291.03	-0.27258	-639.89	810.98	756.23	0.2370	0.0021	238.27
463	2270.62	-565.60	270.01	-0.24333	-571.22	879.65	735.21	0.2571	0.0023	240.94
464	2286.24	-498.71	248.99	-0.21408	-502.54	948.33	714.19	0.2772	0.0026	243.54
465	2299.88	-431.43	227.87	-0.18483	-433.89	1016.98	693.06	0.2973	0.0029	246.09
466	2311.55	-363.80	206.65	-0.1556	-365.27	1085.60	671.85	0.3174	0.0032	248.58
467	2321.24	-295.74	185.83	-0.12632	-296.53	1154.34	651.02	0.3375	0.0034	251.04
468	2328.93	-227.29	165.45	-0.09698	-227.65	1223.22	630.64	0.3576	0.0035	253.45
469	2334.62	-158.62	145.16	-0.06762	-158.74	1292.13	610.35	0.3777	0.0036	255.84
470	2338.28	-89.83	124.81	-0.03828	-89.85	1361.02	590.00	0.3978	0.0036	258.21
471	2339.91	-20.91	104.64	-0.00891	-20.91	1429.96	569.83	0.4179	0.0037	260.55
472	2339.50	48.13	84.81	0.020504	48.13	1499.00	550.01	0.4380	0.0036	262.88
473	2337.07	117.16	65.10	0.049929	117.21	1568.08	530.29	0.4581	0.0035	265.20
474	2332.59	186.10	45.44	0.07936	186.30	1637.17	510.63	0.4782	0.0033	267.50
475	2326.07	254.91	25.88	0.108803	255.42	1706.29	491.08	0.4983	0.0032	269.81
476	2317.53	323.52	6.39	0.138254	324.55	1775.42	471.59	0.5184	0.0030	272.11
477	2306.96	391.85	-13.07	0.167708	393.69	1844.57	452.13	0.5385	0.0028	274.42
478	2294.38	459.82	-32.59	0.197152	462.81	1913.69	432.60	0.5586	0.0026	276.73
479	2279.81	527.34	-52.30	0.226573	531.88	1982.75	412.89	0.5787	0.0025	279.06
480	2263.25	594.41	-72.00	0.255995	600.95	2051.82	393.20	0.5988	0.0024	281.40
481	2244.71	660.98	-91.60	0.285427	670.04	2120.91	373.60	0.6189	0.0022	283.76
482	2224.20	726.99	-111.13	0.314865	739.15	2190.02	354.07	0.6390	0.0021	286.14
483	2201.76	792.37	-130.65	0.344302	808.25	2259.12	334.55	0.6591	0.0019	288.56
484	2177.40	857.06	-150.20	0.373734	877.34	2328.21	315.00	0.6792	0.0017	291.00
485	2151.13	921.00	-169.72	0.403166	946.43	2397.30	295.47	0.6993	0.0016	293.49
486	2122.98	984.15	-189.21	0.4326	1015.53	2466.40	275.99	0.7194	0.0014	296.03
487	2092.98	1046.44	-208.70	0.46203	1084.61	2535.49	256.49	0.7395	0.0012	298.62
488	2061.15	1107.81	-228.18	0.491458	1153.70	2604.57	237.01	0.7596	0.0010	301.27
489	2027.52	1168.24	-247.61	0.520889	1222.79	2673.66	217.59	0.7797	0.0008	304.01
490	1992.13	1227.61	-267.14	0.550302	1291.83	2742.71	198.05	0.7997	0.0007	306.83
491	1955.01	1285.90	-286.76	0.5797	1360.85	2811.72	178.43	0.8198	0.0005	309.76
492	1916.17	1343.09	-306.25	0.60911	1429.88	2880.76	158.95	0.8399	0.0004	312.83
493	1875.63	1399.15	-325.57	0.638533	1498.96	2949.83	139.62	0.8600	0.0001	316.05
494	1833.46	1453.97	-344.95	0.667942	1567.99	3018.86	120.24	0.8800	-0.0001	319.47
495	1789.67	1507.54	-364.27	0.697352	1637.03	3087.90	100.92	0.9001	-0.0003	323.15
496	1744.30	1559.81	-383.50	0.726765	1706.08	3156.95	81.70	0.9201	-0.0005	327.17
497	1697.42	1610.70	-402.78	0.756162	1775.09	3225.96	62.41	0.9402	-0.0008	331.69
498	1649.04	1660.21	-421.96	0.785562	1844.11	3294.98	43.24	0.9602	-0.0010	337.00
499	1599.17	1708.29	-440.95	0.814972	1913.15	3364.02	24.25	0.9803	-0.0013	343.85
500	1549.91	1753.10	-465.19	0.843232	1979.49	3430.36	0.00	1.0000	0.0000	360.00

Tabel 4.7 Coordonate profil secțiunea 6

Pct.	X	Y	Z	θ	Y _{desf}	X _{e/X_i}	Y _{e/Y_i}	X _{Pe/X_{Pi}}	Y _{Pe/Y_{Pi}}	Φ _{e/Φ_i}
	mm	mm	mm	grade	mm	mm	mm	[-]	[-]	grade
	Coordonate spațiale Figura 4.32			Figura 4.32	Rel. 4.4	Rel. 4.7	Rel. 4.8 Rel. 4.9	Rel. 4.1 Rel. 4.13	Rel. 4.10 Rel. 4.12	Rel. 4.15 Rel. 4.16
BF	1748.82	1979.02	-470.91	0.847071	2237.11	3856.93	0.00	1.0000	0.0000	0.00
501	1804.99	1927.93	-465.50	0.81832	2161.18	3781.00	5.41	0.9812	0.0035	15.76
502	1861.09	1873.83	-447.76	0.788811	2083.25	3703.07	23.15	0.9612	0.0041	22.73
503	1915.79	1817.87	-431.54	0.759177	2004.99	3624.80	39.37	0.9411	0.0051	28.08
504	1968.77	1760.35	-415.02	0.729567	1926.79	3546.61	55.88	0.9211	0.0060	32.63
505	2019.95	1701.37	-397.99	0.699998	1848.69	3468.51	72.91	0.9011	0.0068	36.67
506	2069.44	1640.82	-381.51	0.670384	1770.48	3390.30	89.39	0.8810	0.0077	40.36
507	2117.06	1578.91	-364.53	0.64081	1692.38	3312.20	106.37	0.8610	0.0085	43.79
508	2162.83	1515.60	-347.68	0.611226	1614.25	3234.07	123.22	0.8409	0.0093	47.01
509	2206.57	1451.19	-329.61	0.581746	1536.39	3156.21	141.30	0.8209	0.0098	50.08
510	2248.44	1385.43	-311.99	0.552226	1458.43	3078.25	158.91	0.8008	0.0105	53.01
511	2288.42	1318.34	-294.98	0.522654	1380.33	3000.15	175.92	0.7808	0.0113	55.84
512	2326.31	1250.26	-277.19	0.49315	1302.41	2922.23	193.71	0.7607	0.0119	58.57
513	2362.23	1181.00	-259.81	0.46361	1224.39	2844.21	211.10	0.7407	0.0126	61.22
514	2396.02	1110.84	-241.83	0.434123	1146.52	2766.34	229.08	0.7206	0.0131	63.81
515	2427.71	1039.76	-223.63	0.404653	1068.69	2688.51	247.27	0.7006	0.0136	66.35
516	2457.25	967.88	-204.95	0.375227	990.98	2610.79	265.96	0.6805	0.0139	68.83
517	2484.66	895.17	-186.27	0.345802	913.26	2533.08	284.64	0.6605	0.0143	71.28
518	2510.02	821.38	-168.92	0.316258	835.24	2455.06	301.98	0.6404	0.0150	73.69
519	2533.09	747.23	-150.05	0.286851	757.57	2377.39	320.86	0.6204	0.0153	76.07
520	2553.94	672.51	-130.81	0.257477	680.00	2299.81	340.10	0.6003	0.0155	78.43
521	2572.61	597.12	-111.92	0.228069	602.33	2222.15	358.98	0.5803	0.0158	80.76
522	2589.05	521.26	-92.89	0.198676	524.70	2144.52	378.02	0.5602	0.0161	83.08
523	2603.22	445.10	-73.21	0.169343	447.24	2067.05	397.70	0.5401	0.0162	85.40
524	2615.21	368.21	-54.99	0.139875	369.41	1989.23	415.91	0.5201	0.0167	87.70
525	2624.88	291.34	-35.37	0.110538	291.93	1911.75	435.54	0.5000	0.0168	90.00
526	2632.29	214.29	-15.44	0.08123	214.53	1834.35	455.47	0.4800	0.0169	92.30
527	2637.45	136.84	3.62	0.051838	136.90	1756.72	474.52	0.4599	0.0171	94.60
528	2640.34	59.25	22.58	0.022437	59.26	1679.08	493.48	0.4399	0.0174	96.91
529	2640.94	-18.41	41.46	-0.00697	-18.41	1601.41	512.37	0.4198	0.0177	99.23
530	2639.25	-96.00	60.50	-0.03636	-96.03	1523.79	531.41	0.3997	0.0180	101.57
531	2635.33	-173.04	81.44	-0.06557	-173.16	1446.65	552.34	0.3797	0.0178	103.92
532	2629.14	-250.03	101.98	-0.09481	-250.41	1369.41	572.89	0.3596	0.0176	106.30
533	2620.72	-326.63	123.20	-0.12399	-327.47	1292.35	594.10	0.3396	0.0173	108.71
534	2610.07	-403.03	144.10	-0.15321	-404.62	1215.20	615.00	0.3195	0.0171	111.16
535	2597.20	-478.97	165.47	-0.18237	-481.63	1138.19	636.38	0.2995	0.0168	113.65
536	2582.13	-554.53	186.70	-0.21155	-558.69	1061.13	657.60	0.2794	0.0165	116.18
537	2564.92	-629.35	208.93	-0.24062	-635.46	984.35	679.84	0.2594	0.0159	118.77
538	2545.50	-703.77	230.66	-0.26974	-712.38	907.44	701.57	0.2393	0.0155	121.43
539	2523.98	-777.42	253.05	-0.29879	-789.11	830.71	723.95	0.2192	0.0149	124.16
540	2500.36	-850.35	275.65	-0.32782	-865.78	754.04	746.56	0.1992	0.0142	126.98

Tabel 4.7 Coordonate profil secțiunea 6

Pct.	X	Y	Z	θ	Y _{desf}	X _{e/X_i}	Y _{e/Y_i}	X _{Pe/X_{Pi}}	Y _{Pe/Y_{Pi}}	Φ _{e/Φ_i}
	mm	mm	mm	grade	mm	mm	mm	[-]	[-]	grade
	Coordonate spațiale Figura 4.32			Figura 4.32	Rel. 4.4	Rel. 4.7	Rel. 4.8 Rel. 4.9	Rel. 4.1 Rel. 4.13	Rel. 4.10 Rel. 4.12	Rel. 4.15 Rel. 4.16
541	2474.52	-922.84	297.23	-0.35696	-942.74	677.08	768.13	0.1791	0.0139	129.92
542	2446.64	-994.40	319.39	-0.38604	-1019.53	600.29	790.29	0.1591	0.0133	132.99
543	2416.60	-1065.33	340.68	-0.41521	-1096.57	523.25	811.59	0.1390	0.0130	136.21
544	2384.47	-1135.43	361.72	-0.44441	-1173.68	446.14	832.62	0.1190	0.0128	139.64
545	2350.44	-1204.29	383.82	-0.47349	-1250.50	369.32	854.72	0.0989	0.0122	143.34
546	2314.56	-1271.88	406.89	-0.50247	-1327.02	292.80	877.79	0.0789	0.0114	147.38
547	2276.75	-1338.39	430.01	-0.53144	-1403.53	216.29	900.92	0.0588	0.0106	151.92
548	2237.57	-1402.90	456.22	-0.56002	-1479.01	140.81	927.12	0.0389	0.0090	157.26
549	2198.13	-1463.94	489.43	-0.58754	-1551.69	68.13	960.34	0.0191	0.0056	164.11
BA	2159.63	-1520.15	529.98	-0.61334	-1619.82	0.00	1000.88	0.0000	0.0000	180.00
551	2199.50	-1461.87	520.79	-0.5866	-1549.20	70.62	991.70	0.0177	-0.0022	195.31
552	2240.80	-1397.75	497.15	-0.55772	-1472.93	146.89	968.05	0.0378	-0.0013	202.41
553	2280.58	-1331.86	475.64	-0.52857	-1395.96	223.86	946.54	0.0578	-0.0009	207.82
554	2318.51	-1264.67	454.77	-0.49936	-1318.80	301.02	925.67	0.0779	-0.0007	212.41
555	2354.46	-1196.42	433.85	-0.47015	-1241.66	378.16	904.76	0.0979	-0.0005	216.47
556	2388.38	-1127.18	412.80	-0.44095	-1164.55	455.27	883.70	0.1180	-0.0002	220.18
557	2420.37	-1056.73	392.75	-0.41165	-1087.18	532.64	863.66	0.1380	-0.0002	223.62
558	2450.24	-985.50	372.23	-0.38241	-1009.94	609.88	843.14	0.1581	-0.0001	226.86
559	2477.89	-913.75	350.42	-0.35329	-933.04	686.77	821.33	0.1781	0.0003	229.93
560	2503.58	-840.80	330.28	-0.324	-855.69	764.12	801.19	0.1982	0.0003	232.87
561	2527.15	-767.06	310.39	-0.29469	-778.28	841.54	781.30	0.2183	0.0003	235.70
562	2548.51	-692.80	289.97	-0.26543	-701.00	918.82	760.88	0.2383	0.0004	238.44
563	2567.67	-618.00	269.32	-0.23619	-623.79	996.03	740.23	0.2584	0.0005	241.10
564	2584.59	-542.96	247.65	-0.20706	-546.85	1072.96	718.56	0.2784	0.0009	243.70
565	2599.30	-467.45	225.97	-0.17793	-469.92	1149.90	696.88	0.2985	0.0014	246.23
566	2611.85	-391.29	205.22	-0.14871	-392.73	1227.08	676.13	0.3185	0.0015	248.72
567	2622.15	-314.98	183.78	-0.11955	-315.74	1304.08	654.69	0.3386	0.0019	251.17
568	2630.23	-238.32	162.67	-0.09036	-238.65	1381.17	633.57	0.3587	0.0022	253.58
569	2636.06	-161.39	141.78	-0.06115	-161.50	1458.32	612.68	0.3787	0.0024	255.96
570	2639.66	-84.07	121.90	-0.03184	-84.08	1535.74	592.80	0.3988	0.0023	258.32
571	2640.99	-6.68	101.96	-0.00253	-6.68	1613.14	572.87	0.4188	0.0023	260.66
572	2640.06	70.59	81.53	0.02673	70.60	1690.41	552.44	0.4389	0.0024	262.98
573	2636.86	147.91	61.54	0.056033	147.98	1767.80	532.45	0.4590	0.0024	265.29
574	2631.39	225.14	41.71	0.085352	225.41	1845.23	512.62	0.4790	0.0023	267.59
575	2623.65	302.20	21.96	0.114678	302.86	1922.68	492.87	0.4991	0.0022	269.89
576	2613.66	379.03	2.32	0.144014	380.34	2000.16	473.23	0.5191	0.0021	272.19
577	2601.42	455.52	-17.38	0.173345	457.81	2077.62	453.53	0.5392	0.0020	274.50
578	2586.93	531.69	-36.77	0.202706	535.35	2155.16	434.14	0.5592	0.0018	276.81
579	2570.20	607.42	-56.09	0.232073	612.90	2232.72	414.82	0.5793	0.0016	279.13
580	2551.27	682.58	-75.58	0.261424	690.42	2310.24	395.33	0.5994	0.0015	281.46

Tabel 4.7 Coordonate profil secțiunea 6

Pct.	X	Y	Z	θ	Y _{desf}	X _{e/X_i}	Y _{e/Y_i}	X _{Pe/X_{Pi}}	Y _{Pe/Y_{Pi}}	φ _{e/φ_i}
	mm	mm	mm	grade	mm	mm	mm	[-]	[-]	grade
	Coordonate spațiale Figura 4.32			Figura 4.32	Rel. 4.4	Rel. 4.7	Rel. 4.8 Rel. 4.9	Rel. 4.1 Rel. 4.13	Rel. 4.10 Rel. 4.12	Rel. 4.15 Rel. 4.16
581	2530.14	757.16	-95.07	0.290775	767.94	2387.75	375.84	0.6194	0.0013	283.82
582	2506.84	831.03	-114.77	0.320105	845.40	2465.22	356.13	0.6395	0.0012	286.20
583	2481.38	904.23	-134.33	0.34945	922.90	2542.72	336.58	0.6595	0.0011	288.61
584	2453.74	976.75	-153.43	0.378837	1000.51	2620.33	317.48	0.6796	0.0008	291.05
585	2424.02	1048.32	-172.97	0.408183	1078.01	2697.83	297.93	0.6997	0.0007	293.54
586	2392.23	1118.98	-192.58	0.437522	1155.50	2775.31	278.32	0.7197	0.0006	296.07
587	2358.36	1188.70	-212.10	0.466871	1233.01	2852.83	258.81	0.7398	0.0004	298.66
588	2322.47	1257.39	-231.64	0.496218	1310.51	2930.33	239.27	0.7598	0.0003	301.31
589	2284.58	1324.99	-251.20	0.525561	1388.01	3007.83	219.70	0.7799	0.0002	304.04
590	2244.74	1391.41	-270.90	0.554892	1465.47	3085.29	200.00	0.7999	0.0001	306.86
591	2202.97	1456.64	-290.65	0.584219	1542.92	3162.74	180.26	0.8200	0.0000	309.79
592	2159.25	1520.69	-309.97	0.613585	1620.48	3240.30	160.93	0.8401	-0.0002	312.85
593	2113.66	1583.46	-329.20	0.642961	1698.06	3317.88	141.70	0.8601	-0.0004	316.07
594	2066.25	1644.84	-348.52	0.672328	1775.62	3395.44	122.38	0.8802	-0.0006	319.50
595	2017.04	1704.82	-367.72	0.701706	1853.21	3473.02	103.18	0.9002	-0.0009	323.18
596	1966.08	1763.35	-386.85	0.731092	1930.81	3550.63	84.06	0.9203	-0.0011	327.20
597	1913.46	1820.32	-406.19	0.760457	2008.37	3628.18	64.72	0.9404	-0.0013	331.73
598	1859.21	1875.69	-425.65	0.789811	2085.89	3705.71	45.26	0.9604	-0.0015	337.05
599	1803.15	1929.65	-443.90	0.819275	2163.71	3783.52	27.01	0.9805	-0.0019	343.93
600	1748.82	1979.02	-470.91	0.847071	2237.11	3856.93	0.00	1.0000	0.0000	360.00

Tabel 4.8 Comparație unghi de instalare și coarda profile

Secțiunea	Unghi de instalare β _S [grade]		Abatere Δβ _S [%]	Coarda L [mm]		Abatere ΔL [%]
	Din proiect	Scanare 3D		Din proiect	Scanare 3D	
1	29.48443	29.339	0.49	2092.646	2110.2191	-0.84
2	24.5521	25.137	-2.38	2443.661	2449.491	-0.24
3	20.85922	20.940	-0.39	2808.686	2828.7963	-0.72
4	18.0322	18.313	-1.55	3182.622	3216.748	-1.07
5	15.80784	16.259	-2.86	3561.574	3573.2842	-0.33
6	14.00279	14.547	-3.89	3945.68	3984.6823	-0.99

Figura 4.44 prezintă variația ordonatelor profilului Y_{Pe}/Y_{Pi} din sistemul de referință propriu al profilelor în raport cu unghiu reprezentării parametrice φ pentru cele 6 secțiuni de calcul, ale căror valori sunt prezentate în **tabelele 4.2 ÷ 4.7**, unde valorile φ ∈ (0° ÷ 180°) aparțin extradosului profilului, iar valorile φ ∈ (180° ÷ 360°) aparțin intradosului profilului.

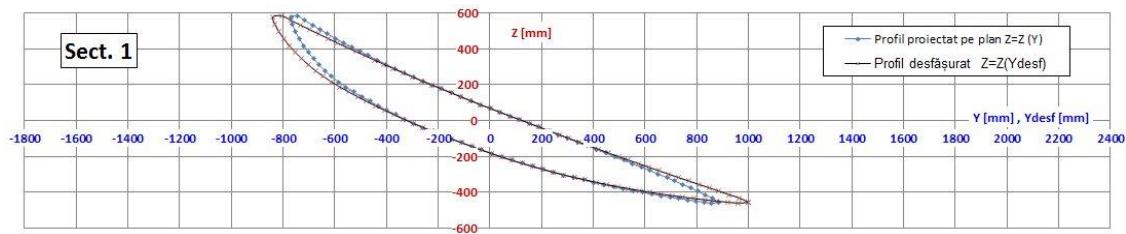


Fig. 4.36 Profile pentru secțiunea 1

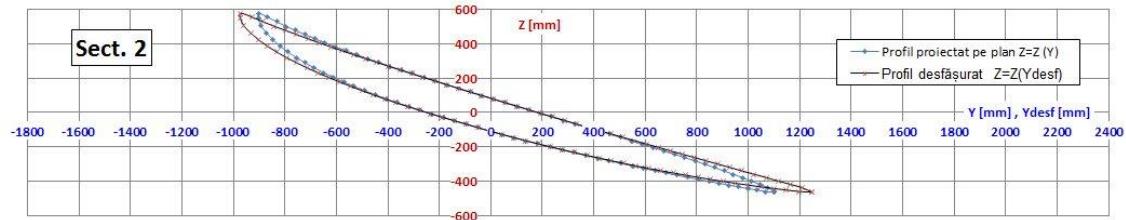


Fig. 4.37 Profile pentru secțiunea 2

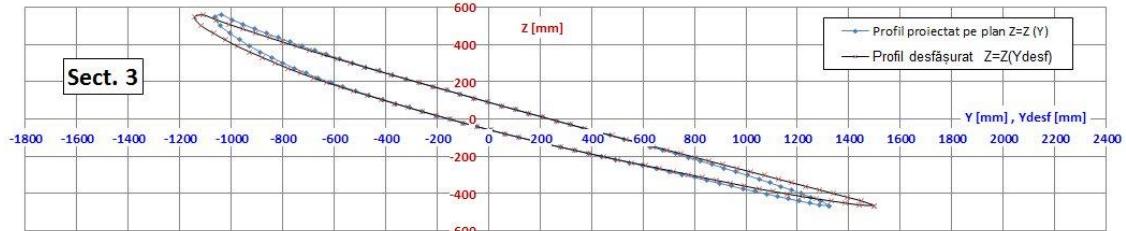


Fig. 4.38 Profile pentru secțiunea 3

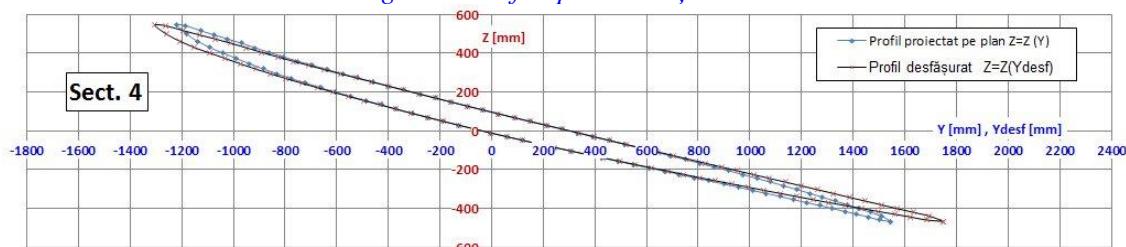


Fig. 4.39 Profile pentru secțiunea 4

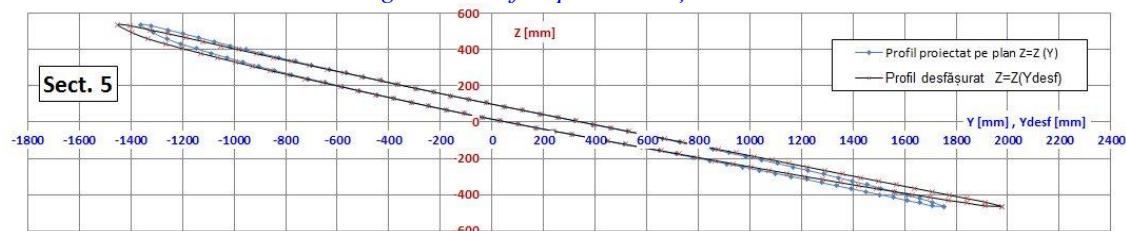


Fig. 4.40 Profile pentru secțiunea 5

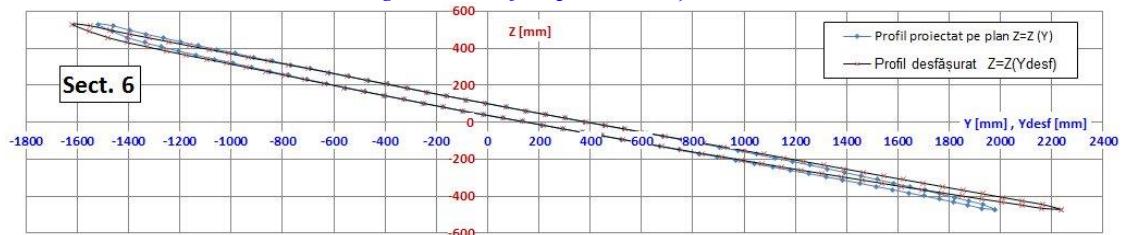


Fig. 4.41 Profile pentru secțiunea 6

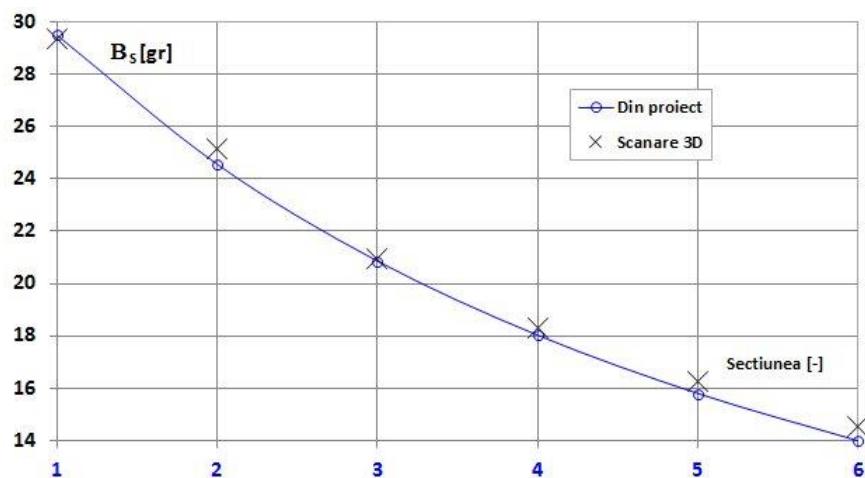


Fig. 4.42 Variația unghiului de instalare β_s funcție de secțiune

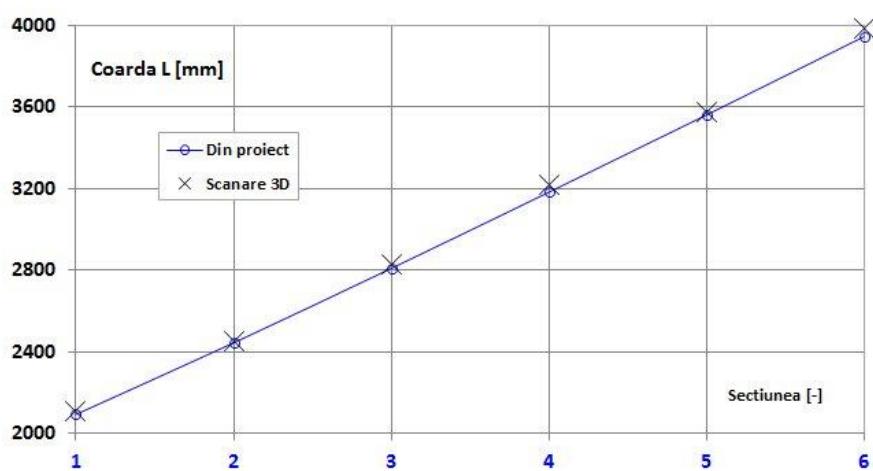


Fig. 4.43 Variația corzii profilului funcție de secțiune

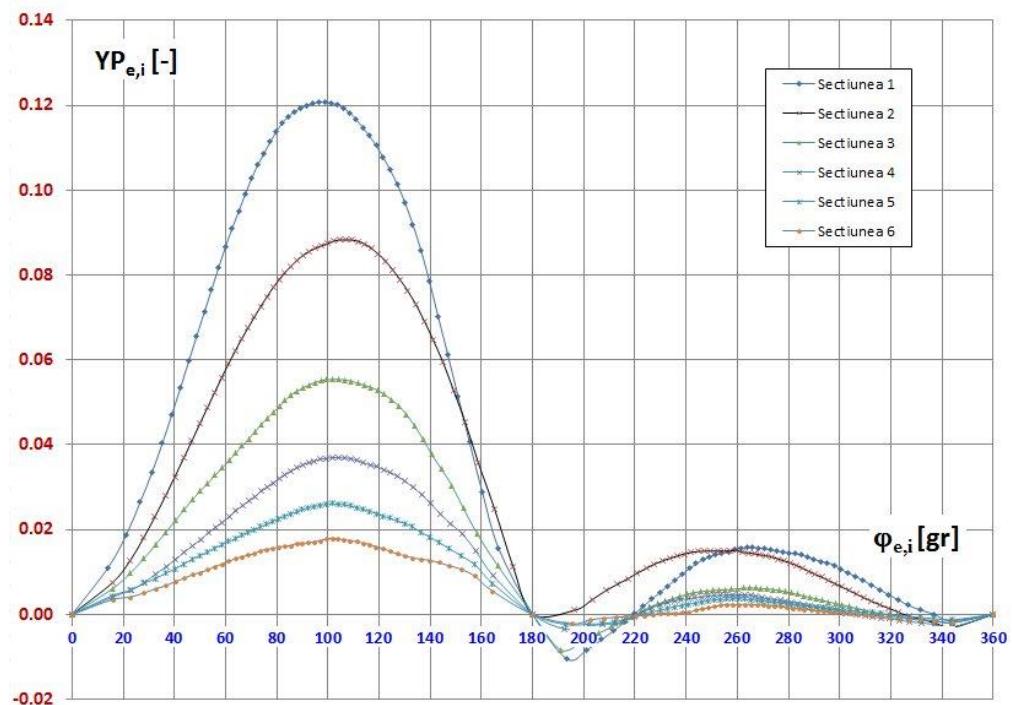


Fig. 4.44 Variația ordonatelor profilului Y_{P_e}/Y_{P_i} în raport cu unghiul φ pentru cele 6 secțiuni de calcul

Pentru determinarea parametrilor: grosimea relativă d/L , poziția grosimii maxime X_d/L , săgeata relativă maxime f/L , poziția săgeții maxime X_f/L , din [tabelele 4.2 ÷ 4.7](#), s-au preluat valorile adimensionalizate ale absciselor X_{Pe}/X_{Pi} și ordonatelor Y_{Pe}/Y_{Pi} profilelor în sistemul de referință propriu și s-au parcurs următoarele etape, utilizând aplicația Excel și limbajul de programare Vizual Basic integrat în Excel:

- s-au generat 51 valori ale abscisei X_{spline} în domeniul $0 \div 1$ cu pas constant de 0.02;
- pentru fiecare abscisă X_{spline} , prin interpolare spline [\[10\]](#) a punctelor extradosului, s-au calculat valorile ordonatelor YE_{spline} corespunzătoare absciselor echidistante;
- pentru fiecare abscisă X_{spline} , prin interpolare spline a punctelor intradosului, s-au calculat valorile ordonatelor YI_{spline} corespunzătoare absciselor echidistante;
- pentru fiecare abscisă X_{spline} , s-a calculat grosimea relativă punctuală $(d/L_{\text{spline}})_X$, prin relația:

$$(d/L_{\text{spline}})_X = YE_{\text{spline}} - YI_{\text{spline}} \quad (4.17)$$

- pentru fiecare abscisă X_{spline} , s-a calculat săgeata relativă punctuală $(f/L_{\text{spline}})_X$, prin relația:

$$YS_{\text{spline}} = (f/L_{\text{spline}})_X = YE_{\text{spline}} + \frac{1}{2} \cdot X(d/L_{\text{spline}})_X \quad (4.18)$$

Pentru fiecare secțiune, aceste valori sunt prezentate în [tabelele 4.9 ÷ 4.14](#).

- pentru fiecare secțiune, grosimea relativă d/L este maximul valorilor , iar poziția acesteia X_d/L este abscisa X_{spline} unde s-a înregistrat maximul; acești parametrii sunt marcați cu bold și fundal galben în [tabelele 4.9 ÷ 4.14](#);
- pentru fiecare secțiune, săgeata relativă f/L este maximul valorilor , iar poziția acesteia X_f/L este abscisa X_{spline} unde s-a înregistrat maximul; acești parametrii sunt marcați cu bold și fundal albastru în [tabelele 4.9 ÷ 4.14](#).

Observație: valorile d/L , X_d/L , f/L , X_f/L au fost determinate pentru valori echidistante și discrete ale abscisei X_{spline} , deci sunt determinate cu aproximație, precizia determinării putând crește cu mărirea numărului de abscise X_{spline} , ceea ce ar echivala cu micșorarea pasului constant impus.

Pe baza valorilor din [tabelele 4.9 ÷ 4.14](#), în [figurile 4.45 ÷ 3.50](#) au fost reprezentate grafic, în sistemul de referință propriu, profilele secțiunilor 1 ÷ 6, sub forma curbelor $YE_{\text{spline}}=f(X_{\text{spline}})$, $YS_{\text{spline}}=f(X_{\text{spline}})$, $YI_{\text{spline}}=f(X_{\text{spline}})$; în aceleași grafice s-au marcat: prin linie întreruptă, grosimea relativă maximă d/L la abscisa X_d/L respectiv, cu marcator de tip romb, săgeata relativă maximă f/L la abscisa X_f/L .

Tabel 4.9 Valori profile calculate prin interpolare spline pentru secțiunea 1

XPE	YPE	XPI	YPI	X _{spline}	YE _{spline}	YI _{spline}	(d/L _{spline}) _X	(YS _{spline}) _X
0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
0.0134	0.0155	0.0134	-0.0105	0.02	0.0215	-0.0115	0.0330	0.0050
0.0292	0.0287	0.0338	-0.0084	0.04	0.0366	-0.0077	0.0443	0.0145
0.0460	0.0406	0.0543	-0.0061	0.06	0.0493	-0.0055	0.0548	0.0219
0.0635	0.0514	0.0748	-0.0040	0.08	0.0602	-0.0035	0.0636	0.0284
0.0817	0.0610	0.0952	-0.0020	0.1	0.0698	-0.0016	0.0713	0.0341
0.1002	0.0699	0.1157	-0.0001	0.12	0.0787	0.0003	0.0784	0.0395
0.1190	0.0783	0.1362	0.0017	0.14	0.0861	0.0020	0.0841	0.0441
0.1383	0.0855	0.1568	0.0033	0.16	0.0921	0.0036	0.0885	0.0478
0.1580	0.0915	0.1773	0.0049	0.18	0.0971	0.0051	0.0921	0.0511
0.1779	0.0966	0.1978	0.0063	0.2	0.1012	0.0065	0.0947	0.0538
0.1981	0.1009	0.2183	0.0077	0.22	0.1046	0.0078	0.0967	0.0562
0.2183	0.1043	0.2389	0.0091	0.24	0.1075	0.0092	0.0984	0.0583
0.2387	0.1073	0.2594	0.0103	0.26	0.1101	0.0103	0.0997	0.0602
0.2591	0.1100	0.2800	0.0114	0.28	0.1123	0.0114	0.1008	0.0618
0.2796	0.1122	0.3005	0.0123	0.3	0.1142	0.0123	0.1019	0.0633
0.3000	0.1142	0.3211	0.0130	0.32	0.1160	0.0130	0.1029	0.0645
0.3205	0.1160	0.3417	0.0134	0.34	0.1175	0.0134	0.1041	0.0654
0.3411	0.1175	0.3622	0.0137	0.36	0.1186	0.0136	0.1050	0.0661
0.3616	0.1186	0.3828	0.0141	0.38	0.1193	0.0140	0.1052	0.0666
0.3822	0.1193	0.4034	0.0145	0.4	0.1197	0.0144	0.1053	0.0671
0.4028	0.1198	0.4240	0.0148	0.42	0.1199	0.0148	0.1052	0.0673
0.4233	0.1200	0.4445	0.0149	0.44	0.1199	0.0149	0.1050	0.0674
0.4439	0.1199	0.4651	0.0149	0.46	0.1196	0.0149	0.1047	0.0672
0.4645	0.1195	0.4857	0.0147	0.48	0.1192	0.0148	0.1044	0.0670
0.4851	0.1190	0.5063	0.0145	0.5	0.1185	0.0146	0.1040	0.0666
0.5056	0.1183	0.5268	0.0142	0.52	0.1178	0.0143	0.1035	0.0660
0.5262	0.1175	0.5474	0.0139	0.54	0.1167	0.0140	0.1027	0.0654
0.5467	0.1163	0.5680	0.0137	0.56	0.1154	0.0138	0.1016	0.0646
0.5673	0.1148	0.5886	0.0134	0.58	0.1136	0.0135	0.1001	0.0635
0.5877	0.1127	0.6092	0.0131	0.6	0.1112	0.0133	0.0980	0.0622
0.6081	0.1102	0.6297	0.0128	0.62	0.1087	0.0130	0.0957	0.0608
0.6286	0.1075	0.6503	0.0123	0.64	0.1060	0.0126	0.0934	0.0593
0.6489	0.1047	0.6709	0.0117	0.66	0.1030	0.0120	0.0910	0.0575
0.6693	0.1015	0.6914	0.0112	0.68	0.0995	0.0115	0.0881	0.0555
0.6895	0.0977	0.7120	0.0108	0.7	0.0957	0.0111	0.0846	0.0534
0.7097	0.0937	0.7326	0.0103	0.72	0.0917	0.0106	0.0810	0.0512
0.7299	0.0897	0.7531	0.0092	0.74	0.0875	0.0099	0.0775	0.0487
0.7499	0.0852	0.7737	0.0083	0.76	0.0827	0.0089	0.0738	0.0458
0.7699	0.0802	0.7943	0.0075	0.78	0.0776	0.0080	0.0696	0.0428
0.7898	0.0751	0.8148	0.0065	0.8	0.0723	0.0072	0.0651	0.0398
0.8097	0.0697	0.8354	0.0054	0.82	0.0668	0.0063	0.0605	0.0365
0.8295	0.0641	0.8559	0.0043	0.84	0.0609	0.0052	0.0557	0.0331
0.8492	0.0581	0.8765	0.0031	0.86	0.0547	0.0041	0.0506	0.0294
0.8688	0.0518	0.8970	0.0018	0.88	0.0481	0.0029	0.0453	0.0255
0.8883	0.0453	0.9175	0.0005	0.9	0.0413	0.0016	0.0397	0.0215
0.9078	0.0386	0.9381	-0.0006	0.92	0.0342	0.0003	0.0339	0.0173
0.9271	0.0317	0.9586	-0.0017	0.94	0.0271	-0.0007	0.0278	0.0132
0.9465	0.0247	0.9792	-0.0033	0.96	0.0193	-0.0018	0.0211	0.0087

Tabel 4.9 Valori profile calculate prin interpolare spline pentru secțiunea 1

XPE	YPE	XPI	YPI	X _{spline}	YE _{spline}	YI _{spline}	(d/L _{spline}) _X	(YS _{spline}) _X
0.9656	0.0170	1	0	0.98	0.0110	-0.0032	0.0143	0.0039
0.9846	0.0091			1	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
1.0000	0.0000							

Tabel 4.10 Valori profile calculate prin interpolare spline pentru secțiunea 2

XPE	YPE	XPI	YPI	X _{spline}	YE _{spline}	YI _{spline}	(d/L _{spline}) _X	(YS _{spline}) _X
0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
0.0044	0.0112	0.0204	0.0010	0.02	0.0274	0.0009	0.0265	0.0142
0.0169	0.0249	0.0407	0.0035	0.04	0.0392	0.0034	0.0357	0.0213
0.0342	0.0359	0.0611	0.0056	0.06	0.0487	0.0055	0.0432	0.0271
0.0523	0.0454	0.0815	0.0071	0.08	0.0560	0.0070	0.0490	0.0315
0.0713	0.0529	0.1019	0.0084	0.1	0.0620	0.0083	0.0537	0.0352
0.0907	0.0594	0.1223	0.0097	0.12	0.0669	0.0096	0.0573	0.0382
0.1104	0.0646	0.1427	0.0109	0.14	0.0711	0.0107	0.0604	0.0409
0.1304	0.0691	0.1632	0.0119	0.16	0.0746	0.0117	0.0629	0.0432
0.1505	0.0731	0.1836	0.0126	0.18	0.0775	0.0125	0.0650	0.0450
0.1707	0.0762	0.2040	0.0132	0.2	0.0800	0.0131	0.0669	0.0466
0.1910	0.0789	0.2245	0.0138	0.22	0.0822	0.0136	0.0685	0.0479
0.2113	0.0813	0.2449	0.0142	0.24	0.0840	0.0141	0.0699	0.0491
0.2316	0.0833	0.2654	0.0146	0.26	0.0855	0.0145	0.0710	0.0500
0.2520	0.0849	0.2859	0.0148	0.28	0.0867	0.0148	0.0719	0.0507
0.2725	0.0863	0.3063	0.0149	0.3	0.0876	0.0149	0.0727	0.0512
0.2929	0.0873	0.3268	0.0149	0.32	0.0881	0.0149	0.0732	0.0515
0.3133	0.0879	0.3472	0.0149	0.34	0.0883	0.0149	0.0734	0.0516
0.3338	0.0882	0.3677	0.0150	0.36	0.0883	0.0149	0.0733	0.0516
0.3542	0.0883	0.3881	0.0149	0.38	0.0882	0.0149	0.0733	0.0516
0.3747	0.0883	0.4086	0.0151	0.4	0.0878	0.0151	0.0727	0.0515
0.3952	0.0879	0.4291	0.0146	0.42	0.0873	0.0149	0.0724	0.0511
0.4156	0.0874	0.4495	0.0145	0.44	0.0867	0.0145	0.0722	0.0506
0.4361	0.0868	0.4700	0.0143	0.46	0.0862	0.0144	0.0718	0.0503
0.4565	0.0863	0.4904	0.0140	0.48	0.0855	0.0141	0.0713	0.0498
0.4770	0.0856	0.5109	0.0138	0.5	0.0845	0.0139	0.0706	0.0492
0.4974	0.0847	0.5313	0.0135	0.52	0.0834	0.0137	0.0697	0.0485
0.5178	0.0835	0.5518	0.0131	0.54	0.0820	0.0133	0.0687	0.0477
0.5382	0.0821	0.5722	0.0126	0.56	0.0805	0.0129	0.0676	0.0467
0.5586	0.0806	0.5927	0.0121	0.58	0.0788	0.0124	0.0664	0.0456
0.5790	0.0789	0.6131	0.0116	0.6	0.0770	0.0119	0.0650	0.0445
0.5994	0.0770	0.6336	0.0108	0.62	0.0749	0.0113	0.0635	0.0431
0.6197	0.0749	0.6540	0.0101	0.64	0.0726	0.0106	0.0620	0.0416
0.6401	0.0726	0.6745	0.0094	0.66	0.0702	0.0099	0.0603	0.0401
0.6604	0.0702	0.6949	0.0087	0.68	0.0677	0.0093	0.0584	0.0385
0.6807	0.0676	0.7154	0.0080	0.7	0.0651	0.0086	0.0565	0.0368
0.7010	0.0650	0.7358	0.0072	0.72	0.0623	0.0078	0.0544	0.0351
0.7212	0.0621	0.7563	0.0065	0.74	0.0593	0.0071	0.0522	0.0332
0.7414	0.0591	0.7767	0.0056	0.76	0.0560	0.0063	0.0497	0.0312
0.7616	0.0558	0.7971	0.0048	0.78	0.0526	0.0055	0.0471	0.0291
0.7818	0.0523	0.8176	0.0039	0.8	0.0490	0.0047	0.0444	0.0268
0.8019	0.0487	0.8380	0.0031	0.82	0.0453	0.0038	0.0415	0.0245
0.8220	0.0449	0.8585	0.0022	0.84	0.0414	0.0030	0.0384	0.0222

Tabel 4.10 Valori profile calculate prin interpolare spline pentru secțiunea 2

XPE	YPE	XPI	YPI	X _{spline}	YE _{spline}	YI _{spline}	(d/L _{spline}) _X	(YS _{spline}) _X
0.8421	0.0409	0.8789	0.0014	0.86	0.0372	0.0022	0.0351	0.0197
0.8621	0.0368	0.8993	0.0005	0.88	0.0329	0.0013	0.0315	0.0171
0.8821	0.0324	0.9198	-0.0005	0.9	0.0283	0.0005	0.0279	0.0144
0.9021	0.0278	0.9402	-0.0011	0.92	0.0236	-0.0005	0.0241	0.0115
0.9220	0.0231	0.9607	-0.0020	0.94	0.0185	-0.0011	0.0196	0.0087
0.9418	0.0180	0.9811	-0.0031	0.96	0.0130	-0.0020	0.0150	0.0055
0.9615	0.0126	1.0000	0.0000	0.98	0.0079	-0.0031	0.0110	0.0024
0.9813	0.0074			1	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
1.0000	0.0000							

Tabel 4.11 Valori profile calculate prin interpolare spline pentru secțiunea 3

XPE	YPE	XPI	YPI	X _{spline}	YE _{spline}	YI _{spline}	(d/L _{spline}) _X	(YS _{spline}) _X
0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0	0	0	0.000000	0.000000
0.0141	0.0115	0.0092	-0.0084	0.02	0.014449	-0.00881	0.023261	0.002819
0.0356	0.0191	0.0293	-0.0062	0.04	0.020508	-0.00525	0.025760	0.007628
0.0549	0.0251	0.0494	-0.0045	0.06	0.02655	-0.00371	0.030258	0.011421
0.0744	0.0304	0.0696	-0.0031	0.08	0.031624	-0.00241	0.034036	0.014606
0.0943	0.0343	0.0898	-0.0018	0.1	0.035329	-0.00121	0.036540	0.017059
0.1143	0.0377	0.1101	-0.0006	0.12	0.0388	-6.5E-05	0.038865	0.019367
0.1342	0.0414	0.1303	0.0005	0.14	0.042366	0.001004	0.041362	0.021685
0.1542	0.0445	0.1505	0.0015	0.16	0.045321	0.001955	0.043367	0.023638
0.1742	0.0471	0.1707	0.0024	0.18	0.047766	0.002743	0.045023	0.025255
0.1944	0.0491	0.1909	0.0031	0.2	0.049599	0.003384	0.046215	0.026492
0.2146	0.0506	0.2112	0.0037	0.22	0.05095	0.003931	0.047019	0.027441
0.2348	0.0518	0.2314	0.0042	0.24	0.052122	0.004435	0.047687	0.028278
0.2550	0.0529	0.2516	0.0047	0.26	0.053046	0.004889	0.048158	0.028968
0.2752	0.0535	0.2719	0.0051	0.28	0.053644	0.00522	0.048425	0.029432
0.2955	0.0540	0.2921	0.0054	0.3	0.054115	0.005414	0.048701	0.029765
0.3157	0.0545	0.3124	0.0055	0.32	0.05462	0.005524	0.049095	0.030072
0.3359	0.0550	0.3326	0.0056	0.34	0.055046	0.005648	0.049398	0.030347
0.3562	0.0552	0.3528	0.0057	0.36	0.055282	0.005776	0.049506	0.030529
0.3764	0.0554	0.3731	0.0058	0.38	0.055381	0.005822	0.049559	0.030601
0.3967	0.0554	0.3933	0.0059	0.4	0.055396	0.005908	0.049487	0.030652
0.4169	0.0553	0.4136	0.0060	0.42	0.055287	0.006058	0.049229	0.030672
0.4371	0.0551	0.4338	0.0061	0.44	0.055012	0.006166	0.048845	0.030589
0.4574	0.0547	0.4541	0.0062	0.46	0.054614	0.006187	0.048427	0.030400
0.4776	0.0541	0.4743	0.0062	0.48	0.054039	0.006142	0.047896	0.030090
0.4978	0.0534	0.4945	0.0061	0.5	0.053307	0.006053	0.047254	0.029680
0.5181	0.0526	0.5148	0.0060	0.52	0.052535	0.005945	0.046591	0.029240
0.5383	0.0518	0.5350	0.0058	0.54	0.051701	0.005795	0.045906	0.028748
0.5585	0.0504	0.5553	0.0056	0.56	0.050324	0.005568	0.044756	0.027946
0.5787	0.0490	0.5755	0.0054	0.58	0.04888	0.005284	0.043596	0.027082
0.5989	0.0476	0.5958	0.0050	0.6	0.047561	0.004968	0.042593	0.026265

Tabel 4.11 Valori profile calculate prin interpolare spline pentru secțiunea 3

XPE	YPE	XPI	YPI	X _{spline}	YE _{spline}	YI _{spline}	(d/L _{spline})X	(YS _{spline})X
0.6191	0.0462	0.6160	0.0047	0.62	0.046132	0.004633	0.041499	0.025383
0.6393	0.0447	0.6362	0.0044	0.64	0.044659	0.004296	0.040362	0.024478
0.6594	0.0430	0.6565	0.0040	0.66	0.042981	0.003961	0.039020	0.023471
0.6796	0.0413	0.6767	0.0037	0.68	0.041277	0.003605	0.037672	0.022441
0.6998	0.0397	0.6969	0.0033	0.7	0.039664	0.003221	0.036443	0.021443
0.7199	0.0380	0.7172	0.0029	0.72	0.037962	0.002849	0.035113	0.020405
0.7401	0.0362	0.7374	0.0026	0.74	0.036234	0.002513	0.033721	0.019373
0.7603	0.0345	0.7577	0.0022	0.76	0.034555	0.002174	0.032381	0.018364
0.7805	0.0328	0.7779	0.0018	0.78	0.0328	0.001777	0.031023	0.017288
0.8006	0.0309	0.7981	0.0014	0.8	0.030954	0.001334	0.029620	0.016144
0.8208	0.0291	0.8184	0.0009	0.82	0.029144	0.000903	0.028242	0.015024
0.8409	0.0271	0.8386	0.0006	0.84	0.027157	0.000529	0.026628	0.013843
0.8610	0.0246	0.8589	0.0002	0.86	0.024773	0.000218	0.024555	0.012495
0.8811	0.0221	0.8791	-0.0001	0.88	0.022201	-0.00013	0.022330	0.011036
0.9012	0.0194	0.8993	-0.0005	0.9	0.01955	-0.00052	0.020071	0.009514
0.9212	0.0164	0.9196	-0.0009	0.92	0.016592	-0.00091	0.017506	0.007839
0.9411	0.0131	0.9398	-0.0013	0.94	0.013327	-0.00127	0.014595	0.006030
0.9611	0.0097	0.9601	-0.0015	0.96	0.009923	-0.00152	0.011440	0.004203
0.9810	0.0061	0.9803	-0.0020	0.98	0.006311	-0.00199	0.008299	0.002161
1.0000	0.0000	1.0000	0.0000	1	0	0	0.000000	0.000000

Tabel 4.12 Valori profile calculate prin interpolare spline pentru secțiunea 4

XPE	YPE	XPI	YPI	X _{spline}	YE _{spline}	YI _{spline}	(d/L _{spline})X	(YS _{spline})X
0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
0.0178	0.0091	0.0117	-0.0034	0.02	0.0099	-0.0040	0.0139	0.0030
0.0371	0.0149	0.0354	-0.0028	0.04	0.0156	-0.0027	0.0183	0.0065
0.0568	0.0190	0.0555	-0.0023	0.06	0.0195	-0.0023	0.0218	0.0086
0.0768	0.0214	0.0756	-0.0022	0.08	0.0218	-0.0021	0.0239	0.0099
0.0968	0.0237	0.0958	-0.0015	0.1	0.0241	-0.0013	0.0254	0.0114
0.1167	0.0262	0.1159	-0.0005	0.12	0.0265	-0.0002	0.0268	0.0132
0.1367	0.0282	0.1359	0.0007	0.14	0.0285	0.0009	0.0277	0.0147
0.1568	0.0299	0.1560	0.0016	0.16	0.0301	0.0017	0.0284	0.0159
0.1769	0.0313	0.1761	0.0022	0.18	0.0315	0.0023	0.0292	0.0169
0.1969	0.0325	0.1963	0.0027	0.2	0.0327	0.0028	0.0298	0.0177
0.2170	0.0334	0.2164	0.0032	0.22	0.0335	0.0033	0.0303	0.0184
0.2371	0.0341	0.2365	0.0035	0.24	0.0342	0.0035	0.0307	0.0189
0.2572	0.0348	0.2566	0.0037	0.26	0.0349	0.0038	0.0312	0.0193
0.2773	0.0353	0.2767	0.0039	0.28	0.0353	0.0039	0.0314	0.0196
0.2974	0.0357	0.2968	0.0041	0.3	0.0358	0.0041	0.0316	0.0199
0.3175	0.0363	0.3169	0.0043	0.32	0.0364	0.0043	0.0320	0.0203
0.3376	0.0367	0.3370	0.0045	0.34	0.0367	0.0045	0.0323	0.0206
0.3577	0.0368	0.3571	0.0045	0.36	0.0368	0.0045	0.0323	0.0207

Tabel 4.12 Valori profile calculate prin interpolare spline pentru secțiunea 4

XPE	YPE	XPI	YPI	X _{spline}	YE _{spline}	YI _{spline}	(d/L _{spline}) _X	(YS _{spline}) _X
0.3778	0.0369	0.3772	0.0045	0.38	0.0370	0.0045	0.0324	0.0208
0.3979	0.0370	0.3973	0.0046	0.4	0.0369	0.0047	0.0323	0.0208
0.4180	0.0368	0.4174	0.0046	0.42	0.0368	0.0046	0.0321	0.0207
0.4381	0.0366	0.4375	0.0046	0.44	0.0365	0.0046	0.0320	0.0206
0.4582	0.0362	0.4576	0.0045	0.46	0.0362	0.0045	0.0317	0.0203
0.4783	0.0357	0.4777	0.0043	0.48	0.0357	0.0042	0.0315	0.0200
0.4984	0.0353	0.4978	0.0040	0.5	0.0352	0.0039	0.0313	0.0196
0.5185	0.0345	0.5179	0.0037	0.52	0.0345	0.0037	0.0308	0.0191
0.5386	0.0337	0.5380	0.0035	0.54	0.0337	0.0035	0.0302	0.0186
0.5587	0.0329	0.5581	0.0033	0.56	0.0329	0.0033	0.0296	0.0181
0.5788	0.0320	0.5782	0.0031	0.58	0.0320	0.0031	0.0288	0.0175
0.5988	0.0310	0.5983	0.0029	0.6	0.0309	0.0029	0.0281	0.0169
0.6189	0.0301	0.6184	0.0026	0.62	0.0300	0.0026	0.0274	0.0163
0.6390	0.0290	0.6385	0.0023	0.64	0.0289	0.0023	0.0267	0.0156
0.6591	0.0278	0.6586	0.0020	0.66	0.0277	0.0020	0.0258	0.0149
0.6792	0.0267	0.6787	0.0017	0.68	0.0267	0.0017	0.0250	0.0142
0.6993	0.0256	0.6989	0.0014	0.7	0.0256	0.0014	0.0242	0.0135
0.7193	0.0244	0.7190	0.0012	0.72	0.0243	0.0012	0.0232	0.0128
0.7394	0.0230	0.7391	0.0009	0.74	0.0229	0.0009	0.0221	0.0119
0.7595	0.0217	0.7592	0.0006	0.76	0.0217	0.0006	0.0211	0.0112
0.7796	0.0205	0.7793	0.0003	0.78	0.0205	0.0003	0.0202	0.0104
0.7997	0.0192	0.7995	0.0000	0.8	0.0191	0.0000	0.0192	0.0096
0.8197	0.0176	0.8196	-0.0003	0.82	0.0176	-0.0003	0.0180	0.0086
0.8398	0.0162	0.8397	-0.0006	0.84	0.0162	-0.0006	0.0169	0.0078
0.8599	0.0147	0.8599	-0.0009	0.86	0.0147	-0.0009	0.0156	0.0069
0.8800	0.0130	0.8800	-0.0011	0.88	0.0130	-0.0011	0.0141	0.0060
0.9001	0.0113	0.9002	-0.0014	0.9	0.0113	-0.0014	0.0127	0.0050
0.9202	0.0096	0.9204	-0.0017	0.92	0.0096	-0.0017	0.0114	0.0039
0.9403	0.0075	0.9405	-0.0020	0.94	0.0075	-0.0020	0.0095	0.0028
0.9604	0.0057	0.9607	-0.0024	0.96	0.0058	-0.0024	0.0081	0.0017
0.9805	0.0041	0.9809	-0.0029	0.98	0.0042	-0.0030	0.0072	0.0006
1.0000	0.0000	1.0000	0.0000	1	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

Tabel 4.13 Valori profile calculate prin interpolare spline pentru secțiunea 5

XPE	YPE	XPI	YPI	X _{spline}	YE _{spline}	YI _{spline}	(d/L _{spline}) _X	(YS _{spline}) _X
0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
0.0185	0.0073	0.0129	-0.0024	0.02	0.0077	-0.0028	0.0105	0.0025
0.0381	0.0117	0.0362	-0.0023	0.04	0.0119	-0.0023	0.0142	0.0048
0.0581	0.0138	0.0562	-0.0022	0.06	0.0139	-0.0021	0.0161	0.0059
0.0781	0.0154	0.0763	-0.0018	0.08	0.0156	-0.0017	0.0173	0.0070
0.0981	0.0169	0.0964	-0.0012	0.1	0.0170	-0.0010	0.0181	0.0080
0.1182	0.0183	0.1165	-0.0005	0.12	0.0184	-0.0004	0.0188	0.0090

Tabel 4.13 Valori profile calculate prin interpolare spline pentru secțiunea 5

XPE	YPE	XPI	YPI	X _{spline}	YE _{spline}	YI _{spline}	(d/L _{spline})X	(YS _{spline})X
0.1382	0.0194	0.1366	0.0001	0.14	0.0195	0.0002	0.0193	0.0098
0.1583	0.0206	0.1566	0.0006	0.16	0.0207	0.0006	0.0201	0.0107
0.1784	0.0214	0.1767	0.0010	0.18	0.0215	0.0010	0.0205	0.0113
0.1985	0.0220	0.1968	0.0014	0.2	0.0221	0.0015	0.0206	0.0118
0.2186	0.0226	0.2169	0.0018	0.22	0.0227	0.0018	0.0208	0.0123
0.2386	0.0232	0.2370	0.0021	0.24	0.0232	0.0021	0.0211	0.0127
0.2587	0.0238	0.2571	0.0023	0.26	0.0238	0.0024	0.0214	0.0131
0.2788	0.0243	0.2772	0.0026	0.28	0.0243	0.0027	0.0217	0.0135
0.2989	0.0248	0.2973	0.0029	0.3	0.0248	0.0030	0.0218	0.0139
0.3190	0.0251	0.3174	0.0032	0.32	0.0252	0.0033	0.0219	0.0142
0.3391	0.0256	0.3375	0.0034	0.34	0.0256	0.0035	0.0221	0.0145
0.3592	0.0259	0.3576	0.0035	0.36	0.0259	0.0035	0.0224	0.0147
0.3793	0.0259	0.3777	0.0036	0.38	0.0259	0.0036	0.0224	0.0148
0.3994	0.0261	0.3978	0.0036	0.4	0.0261	0.0036	0.0225	0.0149
0.4195	0.0259	0.4179	0.0037	0.42	0.0259	0.0037	0.0223	0.0148
0.4396	0.0257	0.4380	0.0036	0.44	0.0257	0.0036	0.0221	0.0146
0.4597	0.0254	0.4581	0.0035	0.46	0.0254	0.0034	0.0220	0.0144
0.4798	0.0251	0.4782	0.0033	0.48	0.0251	0.0033	0.0218	0.0142
0.4999	0.0247	0.4983	0.0032	0.5	0.0247	0.0031	0.0215	0.0139
0.5200	0.0241	0.5184	0.0030	0.52	0.0241	0.0030	0.0211	0.0135
0.5401	0.0237	0.5385	0.0028	0.54	0.0237	0.0028	0.0210	0.0133
0.5602	0.0231	0.5586	0.0026	0.56	0.0232	0.0026	0.0205	0.0129
0.5803	0.0226	0.5787	0.0025	0.58	0.0226	0.0025	0.0201	0.0126
0.6004	0.0219	0.5988	0.0024	0.6	0.0219	0.0024	0.0195	0.0121
0.6205	0.0212	0.6189	0.0022	0.62	0.0213	0.0022	0.0190	0.0117
0.6406	0.0206	0.6390	0.0021	0.64	0.0206	0.0021	0.0186	0.0113
0.6606	0.0200	0.6591	0.0019	0.66	0.0200	0.0019	0.0181	0.0109
0.6807	0.0194	0.6792	0.0017	0.68	0.0194	0.0017	0.0177	0.0106
0.7008	0.0187	0.6993	0.0016	0.7	0.0187	0.0016	0.0171	0.0101
0.7209	0.0178	0.7194	0.0014	0.72	0.0178	0.0014	0.0165	0.0096
0.7410	0.0172	0.7395	0.0012	0.74	0.0172	0.0012	0.0160	0.0092
0.7610	0.0164	0.7596	0.0010	0.76	0.0164	0.0010	0.0154	0.0087
0.7811	0.0157	0.7797	0.0008	0.78	0.0157	0.0008	0.0149	0.0083
0.8012	0.0147	0.7997	0.0007	0.8	0.0147	0.0007	0.0141	0.0077
0.8212	0.0139	0.8198	0.0005	0.82	0.0139	0.0005	0.0134	0.0072
0.8413	0.0130	0.8399	0.0004	0.84	0.0131	0.0004	0.0127	0.0067
0.8613	0.0119	0.8600	0.0001	0.86	0.0120	0.0001	0.0118	0.0061
0.8814	0.0108	0.8800	-0.0001	0.88	0.0108	-0.0001	0.0109	0.0054
0.9014	0.0097	0.9001	-0.0003	0.9	0.0098	-0.0003	0.0100	0.0047
0.9214	0.0084	0.9201	-0.0005	0.92	0.0085	-0.0005	0.0090	0.0040
0.9414	0.0073	0.9402	-0.0008	0.94	0.0074	-0.0007	0.0081	0.0033
0.9614	0.0056	0.9602	-0.0010	0.96	0.0057	-0.0010	0.0067	0.0024

Tabel 4.13 Valori profile calculate prin interpolare spline pentru secțiunea 5

XPE	YPE	XPI	YPI	X _{spline}	YE _{spline}	YI _{spline}	(d/L _{spline}) _X	(YS _{spline}) _X
0.9814	0.0044	0.9803	-0.0013	0.98	0.0046	-0.0013	0.0059	0.0016
1.0000	0.0000	1.0000	0.0000	1	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

Tabel 4.14 Valori profile calculate prin interpolare spline pentru secțiunea 6

XPE	YPE	XPI	YPI	X _{spline}	YE _{spline}	YI _{spline}	(d/L _{spline}) _X	(YS _{spline}) _X
0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
0.0191	0.0056	0.0177	-0.0022	0.02	0.0058	-0.0023	0.0080	0.0017
0.0389	0.0090	0.0378	-0.0013	0.04	0.0092	-0.0012	0.0104	0.0040
0.0588	0.0106	0.0578	-0.0009	0.06	0.0107	-0.0009	0.0116	0.0049
0.0789	0.0114	0.0779	-0.0007	0.08	0.0115	-0.0007	0.0122	0.0054
0.0989	0.0122	0.0979	-0.0005	0.1	0.0123	-0.0005	0.0127	0.0059
0.1190	0.0128	0.1180	-0.0002	0.12	0.0128	-0.0002	0.0130	0.0063
0.1390	0.0130	0.1380	-0.0002	0.14	0.0130	-0.0002	0.0132	0.0064
0.1591	0.0133	0.1581	-0.0001	0.16	0.0133	-0.0001	0.0134	0.0066
0.1791	0.0139	0.1781	0.0003	0.18	0.0139	0.0003	0.0135	0.0071
0.1992	0.0142	0.1982	0.0003	0.2	0.0143	0.0003	0.0139	0.0073
0.2192	0.0149	0.2183	0.0003	0.22	0.0149	0.0003	0.0146	0.0076
0.2393	0.0155	0.2383	0.0004	0.24	0.0155	0.0004	0.0151	0.0080
0.2594	0.0159	0.2584	0.0005	0.26	0.0160	0.0006	0.0154	0.0083
0.2794	0.0165	0.2784	0.0009	0.28	0.0165	0.0010	0.0155	0.0087
0.2995	0.0168	0.2985	0.0014	0.3	0.0168	0.0014	0.0154	0.0091
0.3195	0.0171	0.3185	0.0015	0.32	0.0171	0.0016	0.0156	0.0093
0.3396	0.0173	0.3386	0.0019	0.34	0.0174	0.0019	0.0154	0.0096
0.3596	0.0176	0.3587	0.0022	0.36	0.0176	0.0022	0.0155	0.0099
0.3797	0.0178	0.3787	0.0024	0.38	0.0178	0.0024	0.0154	0.0101
0.3997	0.0180	0.3988	0.0023	0.4	0.0180	0.0023	0.0157	0.0102
0.4198	0.0177	0.4188	0.0023	0.42	0.0177	0.0023	0.0154	0.0100
0.4399	0.0174	0.4389	0.0024	0.44	0.0174	0.0024	0.0150	0.0099
0.4599	0.0171	0.4590	0.0024	0.46	0.0171	0.0024	0.0148	0.0097
0.4800	0.0169	0.4790	0.0023	0.48	0.0169	0.0023	0.0146	0.0096
0.5000	0.0168	0.4991	0.0022	0.5	0.0168	0.0022	0.0146	0.0095
0.5201	0.0167	0.5191	0.0021	0.52	0.0167	0.0021	0.0146	0.0094
0.5401	0.0162	0.5392	0.0020	0.54	0.0162	0.0020	0.0142	0.0091
0.5602	0.0161	0.5592	0.0018	0.56	0.0161	0.0018	0.0143	0.0090
0.5803	0.0158	0.5793	0.0016	0.58	0.0159	0.0016	0.0142	0.0087
0.6003	0.0155	0.5994	0.0015	0.6	0.0155	0.0015	0.0141	0.0085
0.6204	0.0153	0.6194	0.0013	0.62	0.0153	0.0013	0.0140	0.0083
0.6404	0.0150	0.6395	0.0012	0.64	0.0150	0.0012	0.0138	0.0081
0.6605	0.0143	0.6595	0.0011	0.66	0.0143	0.0011	0.0132	0.0077
0.6805	0.0139	0.6796	0.0008	0.68	0.0140	0.0008	0.0131	0.0074
0.7006	0.0136	0.6997	0.0007	0.7	0.0136	0.0007	0.0129	0.0071
0.7206	0.0131	0.7197	0.0006	0.72	0.0131	0.0006	0.0125	0.0068
0.7407	0.0126	0.7398	0.0004	0.74	0.0126	0.0004	0.0122	0.0065

Tabel 4.14 Valori profile calculate prin interpolare spline pentru secțiunea 6

XPE	YPE	XPI	YPI	X _{spline}	YE _{spline}	YI _{spline}	(d/L _{spline}) _X	(YS _{spline}) _X
0.7607	0.0119	0.7598	0.0003	0.76	0.0119	0.0003	0.0116	0.0061
0.7808	0.0113	0.7799	0.0002	0.78	0.0113	0.0002	0.0111	0.0057
0.8008	0.0105	0.7999	0.0001	0.8	0.0105	0.0001	0.0105	0.0053
0.8209	0.0098	0.8200	0.0000	0.82	0.0099	0.0000	0.0099	0.0049
0.8409	0.0093	0.8401	-0.0002	0.84	0.0094	-0.0002	0.0096	0.0046
0.8610	0.0085	0.8601	-0.0004	0.86	0.0085	-0.0004	0.0090	0.0040
0.8810	0.0077	0.8802	-0.0006	0.88	0.0077	-0.0006	0.0084	0.0036
0.9011	0.0068	0.9002	-0.0009	0.9	0.0068	-0.0009	0.0077	0.0030
0.9211	0.0060	0.9203	-0.0011	0.92	0.0060	-0.0011	0.0071	0.0025
0.9411	0.0051	0.9404	-0.0013	0.94	0.0051	-0.0013	0.0064	0.0019
0.9612	0.0041	0.9604	-0.0015	0.96	0.0041	-0.0015	0.0056	0.0013
0.9812	0.0035	0.9805	-0.0019	0.98	0.0036	-0.0020	0.0055	0.0008
1.0000	0.0000	1.0000	0.0000	1	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

Tabelul 4.15 prezintă centralizat valorile parametrilor geometrici: grosimea relativă d/L, poziția grosimii maxime X_d/L, săgeata relativă maximă f/L, poziția săgeții X_f/L, pentru cele 6 secțiuni de calcul, valorile fiind preluate din [tabelele 4.9 ÷ 4.14](#). Reprezentarea grafică a grosimii relative maxime X_d/L și a săgeții relative maxime f/L este prezentată în [figurile 4.51](#) respectiv [4.52](#).

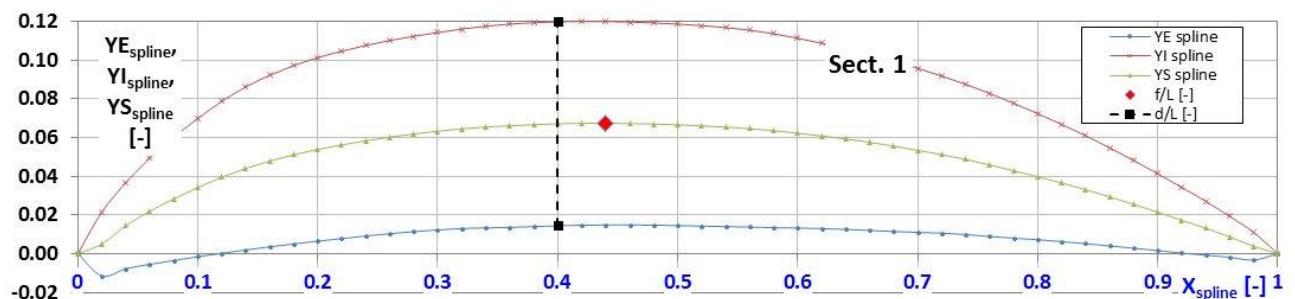


Fig. 4.45 Profile interpolate spline pentru secțiunea 1

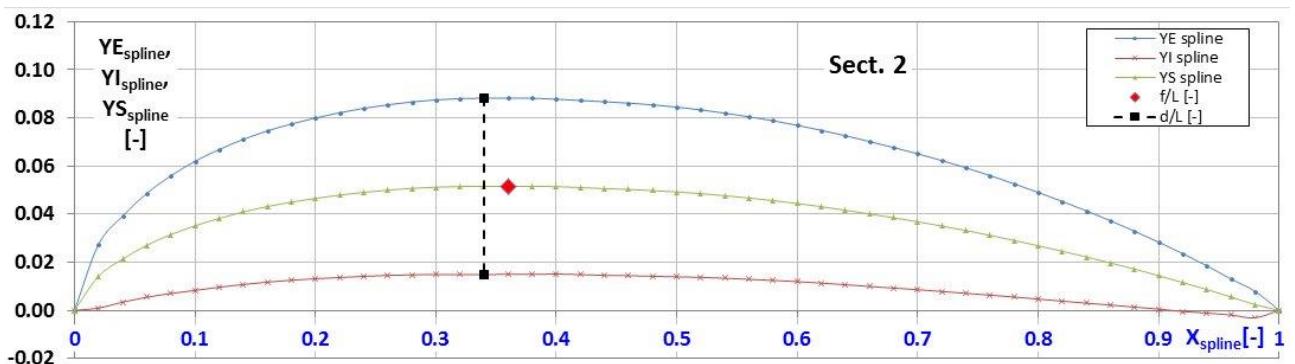


Fig. 4.46 Profile interpolate spline pentru secțiunea 2

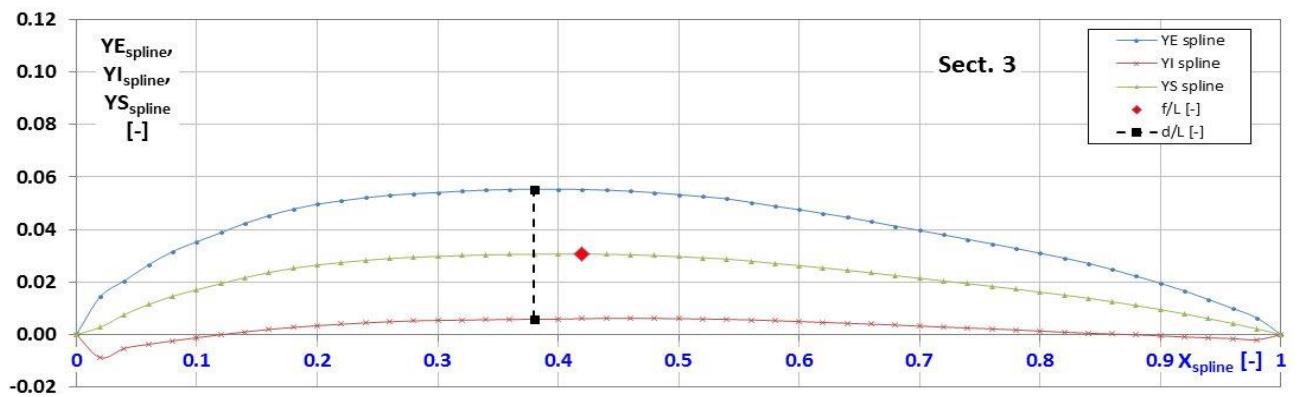


Fig. 4.47 Profile interpolate spline pentru secțiunea 3

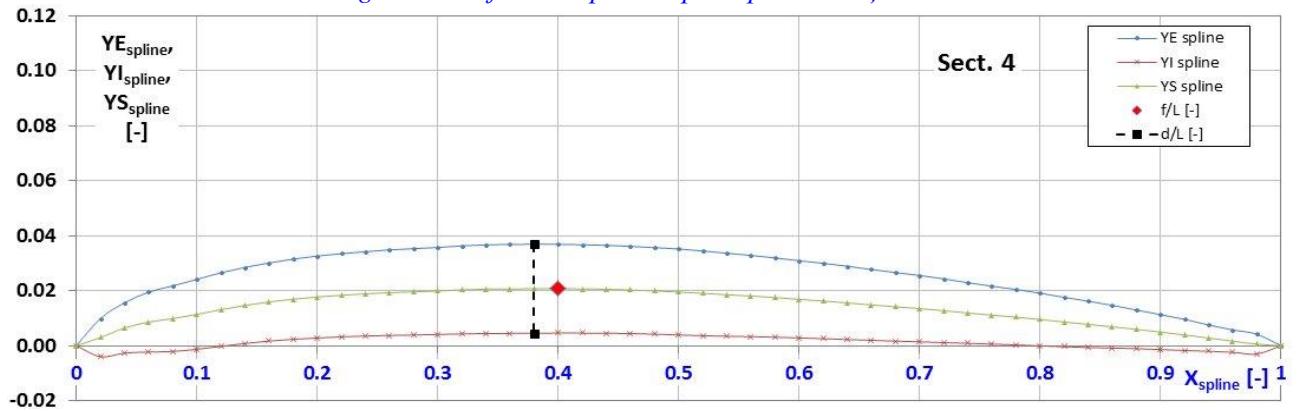


Fig. 4.48 Profile interpolate spline pentru secțiunea 4

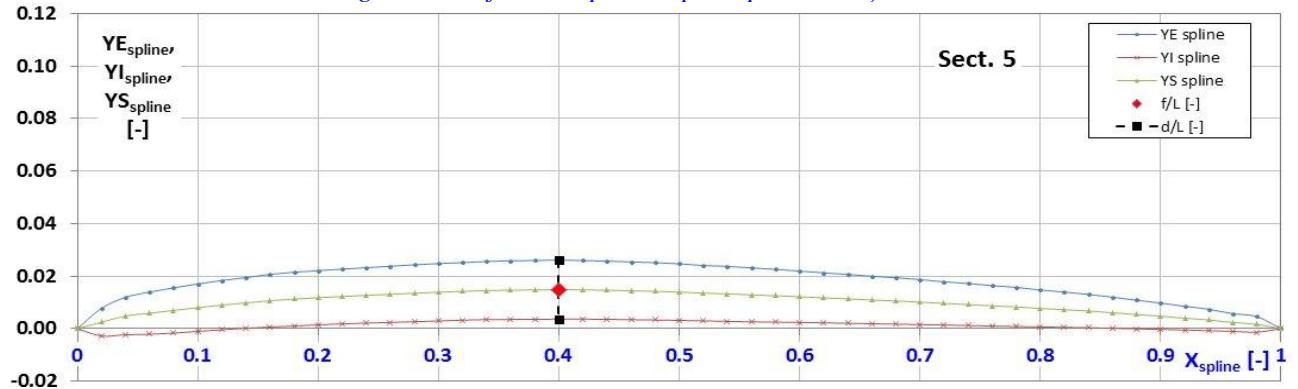


Fig. 4.49 Profile interpolate spline pentru secțiunea 5

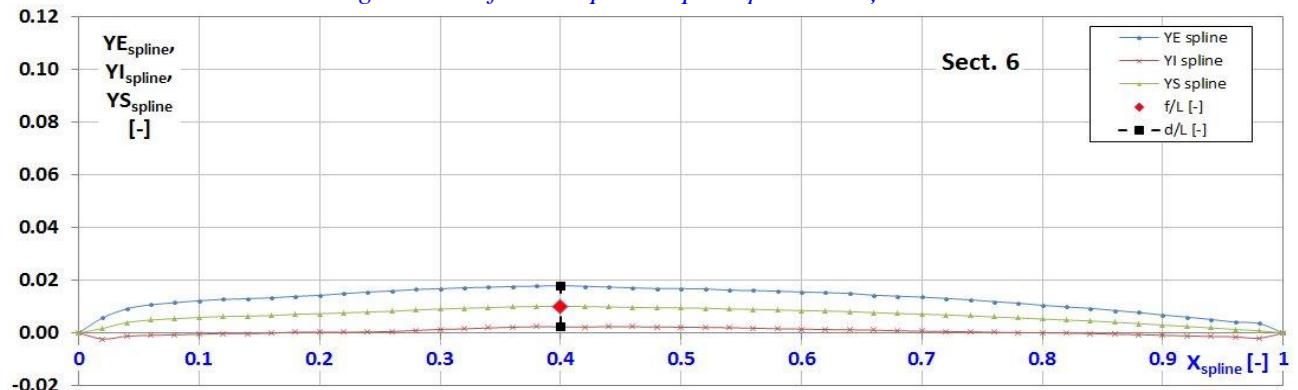


Fig. 4.50 Profile interpolate spline pentru secțiunea 6

Tabel 4.15 Parametrii geometrici profile interpolate spline

Sectiunea	Grosime relativă maximă	Pozitie grosime relativă maximă	Săgeată relativă maximă	Pozitie săgeată relativă maximă
	d/L	Xd/L	f/L	Xf/L
1	0.1053	0.40	0.0674	0.44
2	0.0734	0.34	0.0516	0.36
3	0.0496	0.38	0.0307	0.42
4	0.0324	0.38	0.0208	0.40
5	0.0225	0.40	0.0149	0.40
6	0.0157	0.40	0.0102	0.40

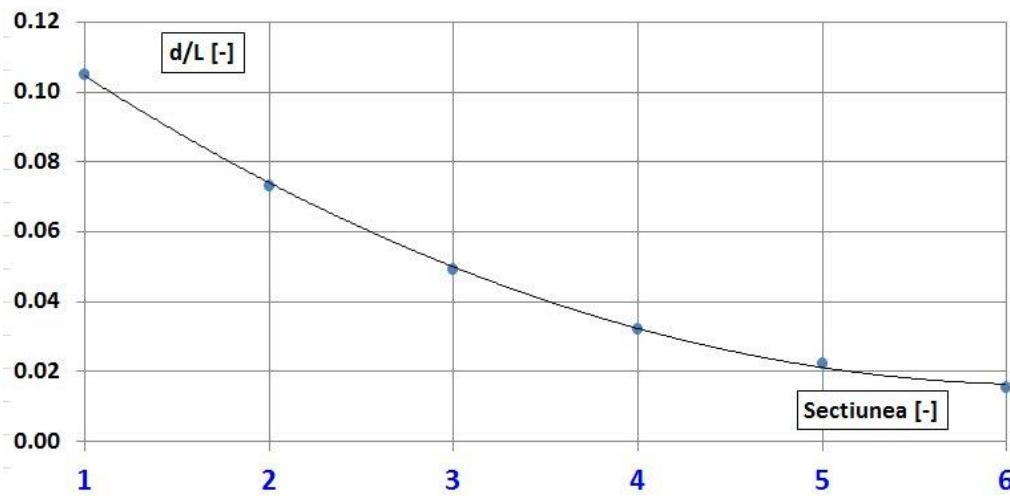


Fig. 4.51

Variatia grosimii relative maxime d/L pentru profile interpolate spline

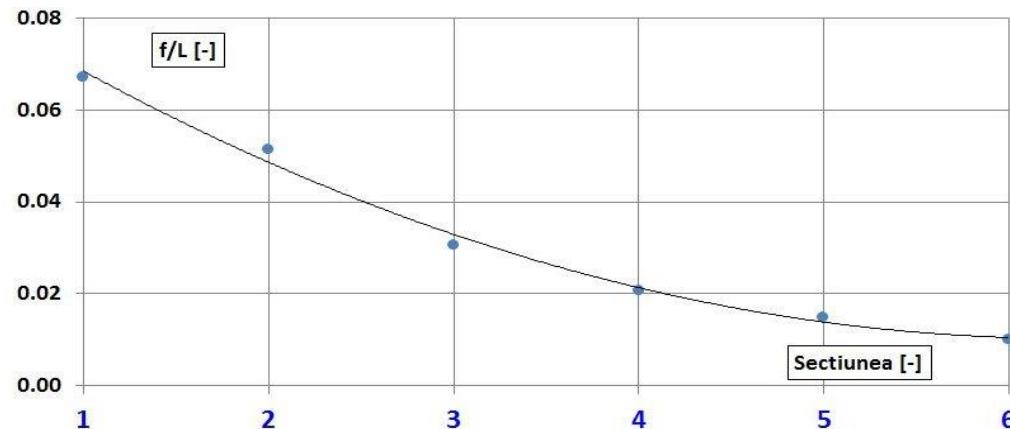


Fig. 4.52

Variatia sägeji relative maxime f/L pentru profile interpolate spline

4.1.6 Netezirea frontierei profilelor

Geometria oricărui obiect nu poate coincide perfect cu cea teoretică, impusă prin desenul de execuție, ci este afectată de abateri care ar trebui să se încadreze într-un domeniu de toleranțe impus, iar procesul de scanare este afectat de erori specifice oricărui proces de măsurare. În consecință, intersecția geometriei scanate a paletei cu cilindrii poate genera profile cu o frontieră ușor neregulată, așa cum este profilul secțiunii 6, **figura 4.53**, ale cărui coordonate adimensionale

sunt preluate din [tabelul 4.7](#). Pentru a evidenția aceste neregularități, în [figura 4.53](#) s-a impus o scalare mare pe axa ordonatelor.

În continuare se pune problema netezirii frontierei unui profil, astfel încât, prin această operație de netezire, să se genereze un profil cât mai apropiat de cel inițial, cu o frontieră continuă, dar cu eliminarea neregularităților existente. Pentru aceasta se propune următorul algoritm, bazat pe exprimarea matematică a frontierei profilului printr-o serie Fourier.

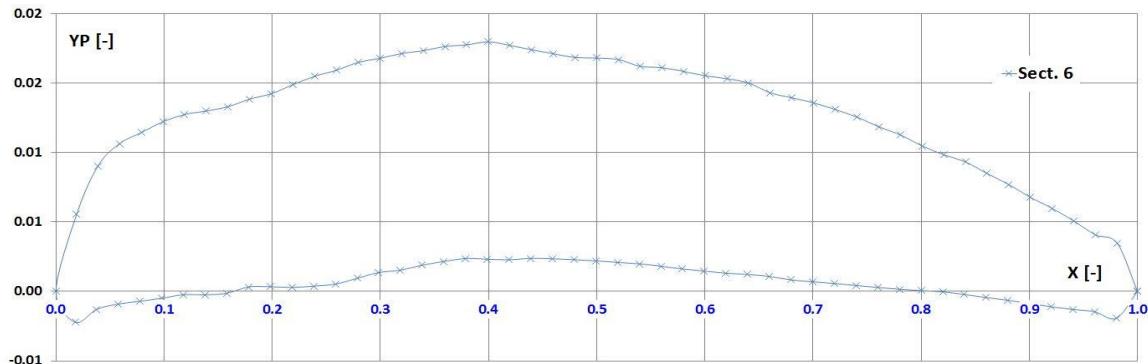


Fig. 4.53 Profil secțiunea 6

Exprimarea matematică a frontierei profilului hidrodinamic se poate face prin următoarea reprezentare parametrică:

$$x = \frac{X}{L} = \frac{1}{2} \cdot (1 + \cos(\varphi)) \quad (4.19)$$

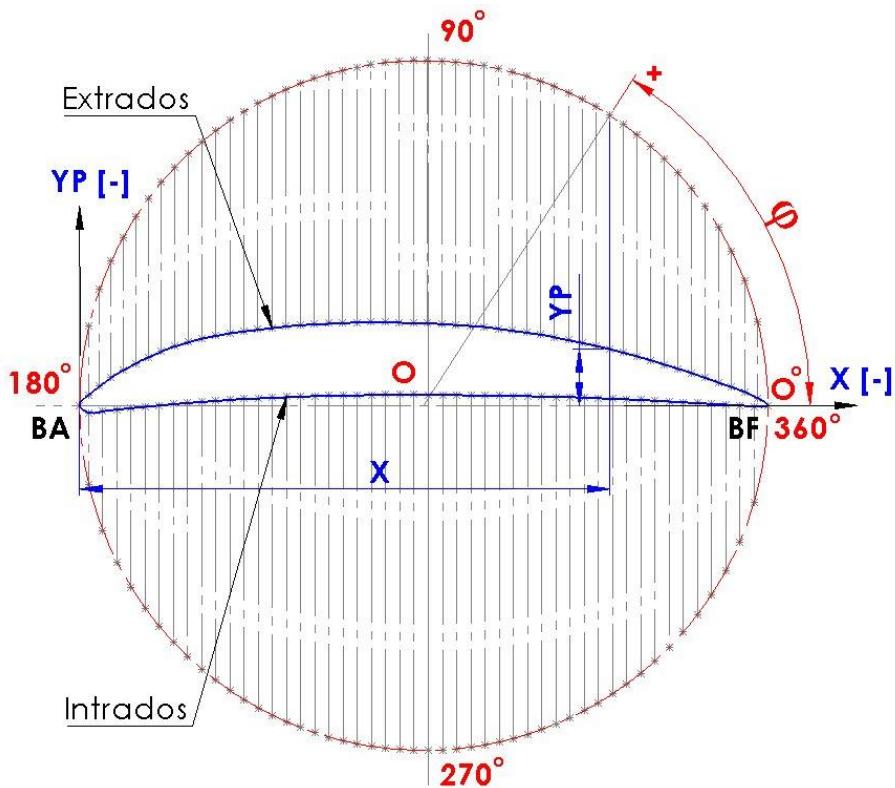
$$y = \frac{Y_P}{L} = \frac{a_o}{2} + \sum_{n=1 \dots N_o} [a_n \cdot \cos(n \cdot \varphi) + b_n \cdot \sin(n \cdot \varphi)] \quad (4.20)$$

$$y_s(\varphi) = \frac{a_o}{2} + \sum_{n=1 \dots N_o} [a_n \cdot \cos(n \cdot \varphi)] \quad (4.21)$$

$$y_g(\varphi) = \sum_{n=1 \dots N_o} [b_n \cdot \sin(n \cdot \varphi)] \quad (4.22)$$

unde:

- L – coarda profilului;
- (X,Y) – coordonatele dimensionalizate ale frontierei profilului;
- (x,y) – coordonatele frontierei profilului adimensionalizate în raport cu coarda L;
- a_n, b_n – coeficienții polinomului trigonometric de interpolare;
- $y_s(\varphi)$ – funcția de schelet, care depinde numai de coeficienții a_n ;
- $y_g(\varphi)$ – funcția de grosime, care depinde numai de coeficienții b_n ;
- φ - argumentul reprezentării parametrice, definit prin [relațiile 4.14, 4.15, 4.16](#) respectiv [figura 4.54](#).



*Fig. 4.54
Argumentul φ al
reprezentării
parametrice*

Figura 4.54 definește geometric unghiul φ . Profilul este prezentat în sistemul de referință propriu, în coordonate adimensionale (X, YP), cu abscisa X, orientată de-a lungul corzii profilului. Coarda unitară a profilului $L=1$ este linia care unește bordul de atac BA cu bordul de fugă BF. Cercul are raza $L/2=0,5$ are centru unghiular în punctul O, situat la mijlocul corzii profilului, iar unghiul φ este format între abscisa X și dreapta care unește punctul O cu punctul de pe cerc corespunzător abscisei X. Extradosul profilului corespunde domeniului φ^E de la 0 la 180 grade, iar intradosul corespunde domeniului φ^I de la 180 la 360 grade. Astfel, fiecărui punct de pe frontieră profilului (X, YP) i se asociază un corespondent unghiular φ .

În cazul reprezentării parametrice se rețin numai primii coeficienți ai seriei trigonometrice, deoarece coeficienții seriei Fourier descresc repede ca valoare și odată cu ei scade și influența armonicelor de ordin superior.

Profilele pot fi generate analitic sau numeric, prin puncte. Exprimarea analitică poate exista în cazul preluării profilelor din cataloge sau din literatura de specialitate, pentru care se oferă o expresie matematică a frontierei. Însă, în cazul exprimării numerice, este necesară o formă matematică de exprimare a frontierei profilului; este cazul profilelor rezultate din intersecția paletelor rotite cu cilindri coaxiali cu axa rotorului ca și în cazul lucrării de față, când geometria paletelor a rezultat ca urmare a unui proces de scanare.

Fiind cunoscute o serie de coordonate (X_k, Y_k) ale frontierei profilului, pentru calculul coeficienților seriei Fourier se utilizează metoda analizei armonice, denumită schema cu douăsprezece ordonate $2 \cdot N_o$ [29] – vol. III, pag. 512 ÷ 517, unde $N_o = 6$, parcurgându-se următoarele etape:

- adimensionalizare coordonate în raport cu coarda L, rezultând coordonatele (x_k, y_k) ;
- pentru fiecare punct (x_k, y_k) , din [relațiile \(4.15\), \(4.16\)](#), se calculează argumentul reprezentării parametrice φ , corespunzător extradosului φ^E respectiv intradosului φ^I , obținând astfel corespondența $y_k=y_k(\varphi)$, [figura 4.55, tabel 4.7](#):

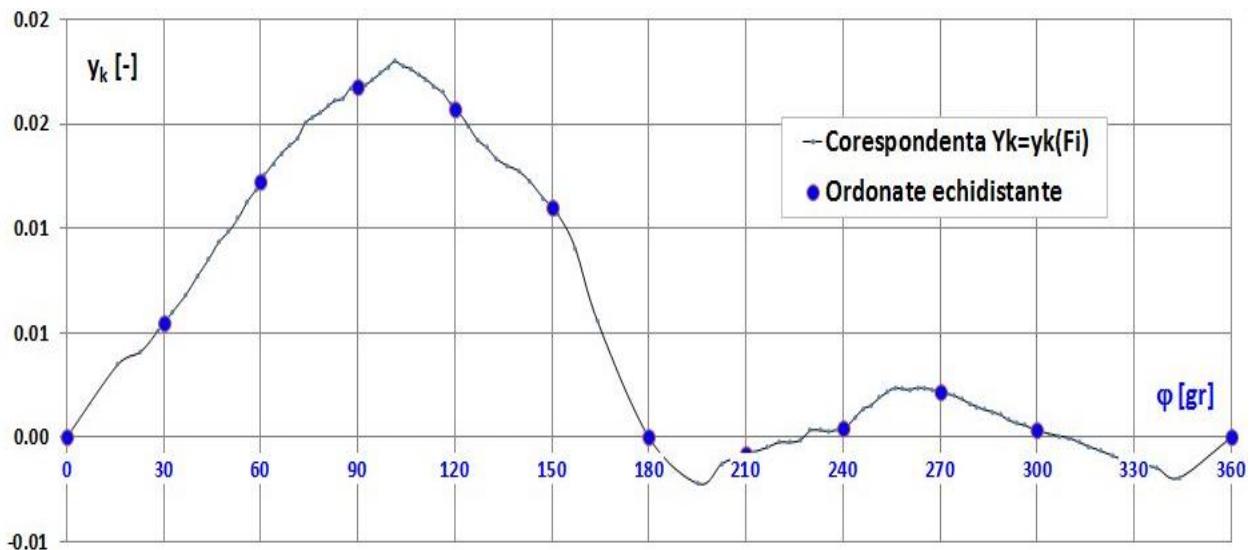


Fig. 4.55 Profil secțiunea 6

- interpolând corespondența $y_k=y_k(\varphi)$ prin funcții spline cubice [10] se determină valori inițiale ale ordonatei y_i corespunzătoare valorilor echidistante ale argumentului φ , [figura 4.55, tabel 4.16](#); de la cele 12 valori inițiale vine denumirea schemei cu douăsprezece ordonate;
- se calculează coeficienții seriei Fourier prin [relațiile](#), [tabel 4.16](#):

$$a_n = \frac{1}{N_o} \sum_{n=0 \dots 2 \cdot N_o} \left[y_i \cdot \cos\left(i \cdot \frac{n}{N_o} \cdot \pi\right) \right] \quad \text{pentru } 0 \leq n < N_o \quad (4.23)$$

$$b_n = \frac{1}{N_o} \sum_{n=0 \dots 2 \cdot N_o} \left[y_i \cdot \sin\left(i \cdot \frac{n}{N_o} \cdot \pi\right) \right] \quad \text{pentru } 0 \leq n < N_o \quad (4.24)$$

- coeficienții astfel obținuți trebuie să satisfacă relația de închidere a lui Parseval, [tabel 4.16](#):

$$\sum_{n=0 \dots 2 \cdot N_o} y_i^2 = 2 \cdot N_o \cdot \left(\frac{a_0^2}{4} + a_{N_o}^2 \right) + \sum_{i=1 \dots N_o-1} N_o \cdot (a_i^2 + b_i^2) \quad (4.25)$$

- generând 73 de valori ale unghiului φ , în domeniul $0 \div 360^\circ$, cu pas echidistant de 5° , prin relațiile (4.19) \div (4.22), se obțin 73 de puncte pe frontieră netezită a profilului, tabelul 4.17; figura 4.56 prezintă comparația profilului inițial al secțiunii 6 din figura 4.53, cu profilul netezit - calculat prin serie Fourier; se poate observa faptul că frontieră profilului netezit se suprapune peste cel inițial și este continuă și fără denivelări.

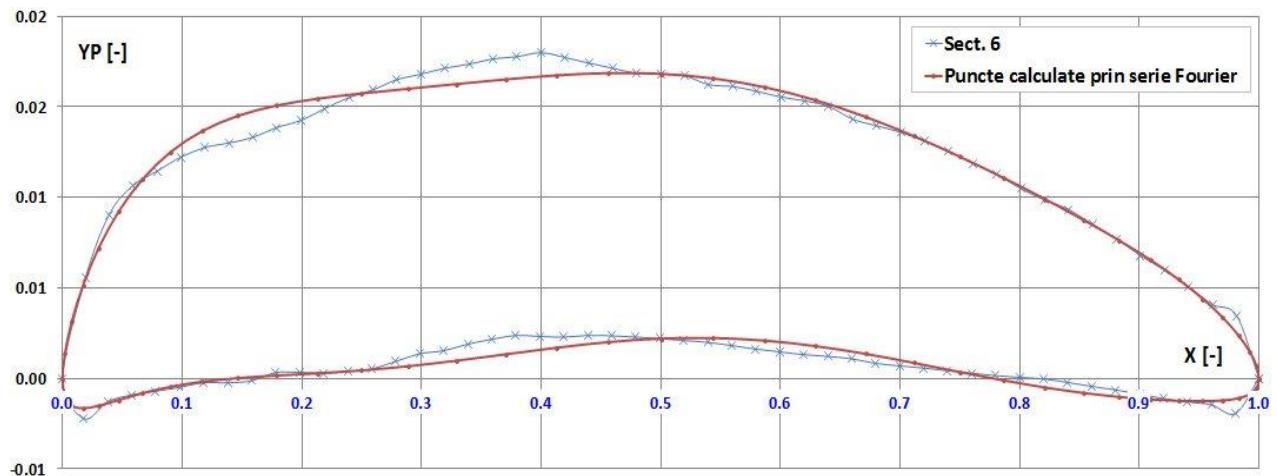


Fig. 4.56 Profil secțiunea 6

Deoarece calculul este laborios, pentru aplicarea algoritmului trebuie utilizat un mediu de programare; în cazul de față algoritmul a fost implementat în mediul Excel, iar ca limbaj s-a folosit Vizual Basic integrat în acest mediu.

Tabel 4.16 Ordonate echidistante și coeficienți Fourier pentru secțiunea 6

Ordonate echidistante			Coeficienți Fourier		
Nr. pct.	φ [gr]	Y_i	Nr.	a_n	b_n
1	0	0	1	0.0103705	0.0000000
2	30	0.0054532	2	-0.0011633	0.0079023
3	60	0.0122421	3	-0.0043660	-0.0012328
4	90	0.0168199	4	0.0005971	0.0006493
5	120	0.0157352	5	-0.0004304	-0.0002503
6	150	0.0110175	6	0.0005662	0.0000571
7	180	0	7	-0.0003889	0.0000000
8	210	-0.0008093	Verificare Parseval	0.0008388	0.0008388
9	240	0.0004451			
10	270	0.0021997			
11	300	0.0003555			
12	330	-0.0012359			

Tabel 4.17 Coordonate profil netezit calculat prin coeficienți Fourier pentru secțiunea 6

Extrados						Intrados					
Nr.	$\varphi [^{\circ}]$	$x [-]$	$y_s [-]$	$y_G [-]$	$y [-]$	Nr.	$\varphi [^{\circ}]$	$x [-]$	$y_s [-]$	$y_G [-]$	$y [-]$
BF	0	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	BA	180	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
2	5	0.9981	0.0001	0.0006	0.0007	38	185	0.0019	0.0002	-0.0012	-0.0010
3	10	0.9924	0.0003	0.0012	0.0015	39	190	0.0076	0.0008	-0.0023	-0.0015
4	15	0.9830	0.0006	0.0017	0.0024	40	195	0.0170	0.0017	-0.0034	-0.0016
5	20	0.9698	0.0011	0.0023	0.0033	41	200	0.0302	0.0029	-0.0044	-0.0015
6	25	0.9532	0.0016	0.0028	0.0044	42	205	0.0468	0.0040	-0.0052	-0.0012
7	30	0.9330	0.0021	0.0033	0.0055	43	210	0.0670	0.0051	-0.0059	-0.0008
8	35	0.9096	0.0027	0.0038	0.0065	44	215	0.0904	0.0060	-0.0065	-0.0005
9	40	0.8830	0.0033	0.0043	0.0076	45	220	0.1170	0.0067	-0.0069	-0.0002
10	45	0.8536	0.0040	0.0048	0.0087	46	225	0.1464	0.0073	-0.0072	0.0000
11	50	0.8214	0.0047	0.0052	0.0099	47	230	0.1786	0.0076	-0.0075	0.0002
12	55	0.7868	0.0055	0.0056	0.0111	48	235	0.2132	0.0079	-0.0076	0.0003
13	60	0.7500	0.0063	0.0059	0.0122	49	240	0.2500	0.0081	-0.0076	0.0004
14	65	0.7113	0.0071	0.0063	0.0134	50	245	0.2887	0.0083	-0.0077	0.0007
15	70	0.6710	0.0079	0.0065	0.0144	51	250	0.3290	0.0086	-0.0076	0.0010
16	75	0.6294	0.0086	0.0068	0.0154	52	255	0.3706	0.0089	-0.0076	0.0013
17	80	0.5868	0.0091	0.0070	0.0161	53	260	0.4132	0.0092	-0.0075	0.0017
18	85	0.5436	0.0094	0.0072	0.0166	54	265	0.4564	0.0094	-0.0074	0.0020
19	90	0.5000	0.0095	0.0073	0.0168	55	270	0.5000	0.0095	-0.0073	0.0022
20	95	0.4564	0.0094	0.0074	0.0169	56	275	0.5436	0.0094	-0.0072	0.0022
21	100	0.4132	0.0092	0.0075	0.0167	57	280	0.5868	0.0091	-0.0070	0.0021
22	105	0.3706	0.0089	0.0076	0.0165	58	285	0.6294	0.0086	-0.0068	0.0018
23	110	0.3290	0.0086	0.0076	0.0163	59	290	0.6710	0.0079	-0.0065	0.0014
24	115	0.2887	0.0083	0.0077	0.0160	60	295	0.7113	0.0071	-0.0063	0.0009
25	120	0.2500	0.0081	0.0076	0.0157	61	300	0.7500	0.0063	-0.0059	0.0004
26	125	0.2132	0.0079	0.0076	0.0154	62	305	0.7868	0.0055	-0.0056	-0.0001
27	130	0.1786	0.0076	0.0075	0.0151	63	310	0.8214	0.0047	-0.0052	-0.0005
28	135	0.1464	0.0073	0.0072	0.0145	64	315	0.8536	0.0040	-0.0048	-0.0008
29	140	0.1170	0.0067	0.0069	0.0137	65	320	0.8830	0.0033	-0.0043	-0.0010
30	145	0.0904	0.0060	0.0065	0.0125	66	325	0.9096	0.0027	-0.0038	-0.0012
31	150	0.0670	0.0051	0.0059	0.0110	67	330	0.9330	0.0021	-0.0033	-0.0012
32	155	0.0468	0.0040	0.0052	0.0092	68	335	0.9532	0.0016	-0.0028	-0.0013
33	160	0.0302	0.0029	0.0044	0.0072	69	340	0.9698	0.0011	-0.0023	-0.0012
34	165	0.0170	0.0017	0.0034	0.0051	70	345	0.9830	0.0006	-0.0017	-0.0011
35	170	0.0076	0.0008	0.0023	0.0031	71	350	0.9924	0.0003	-0.0012	-0.0009
36	175	0.0019	0.0002	0.0012	0.0014	72	355	0.9981	0.0001	-0.0006	-0.0005
BA	180	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	BA	360	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000

Având la dispoziție o exprimare matematică a frontierei profilului prin serie Fourier, dar și a scheletului respectiv a grosimii, [relațiile \(4.21\), \(4.22\)](#), în Vizual Basic se pot determina cu precizie, prin metoda bisecției, parametrii geometrici ai profilului:

- grosimea relativă d/L și poziția grosimii maxime X_d/L ;
- unghiul φ corespunzător poziției grosimii maxime;
- săgeata relativă maximă f/L și poziția săgeții X_f/L ;
- unghiul φ corespunzător poziției săgeții maxime.

În [tabelul 4.18](#) se prezintă, pentru cele 6 secțiuni ale rotorului, valorile acestor parametrii, calculați prin exprimarea scheletului și a grosimii profilului prin serie Fourier.

[Figura 4.57](#) prezintă comparația parametrului grosime relativă maximă d/L pentru varianta de calcul prin interpolare spline la abscise discrete, [tabel 4.15](#), [figura 4.51](#), cu același parametru calculat numeric prin exprimarea scheletului și a grosimii profilului prin coeficienți Fourier, [tabel 4.18](#), [figura 4.57](#).

[Figura 4.58](#) comparația parametrului săgeată relativă maximă f/L pentru varianta de calcul prin interpolare spline la abscise discrete, [tabel 4.15](#), [figura 4.52](#), cu același parametru calculat numeric prin exprimarea scheletului și a grosimii profilului prin coeficienți Fourier, [tabel 4.18](#), [figura 4.58](#).

Se observă ca valorile ambilor parametrii d/L și f/L sunt apropiate, micile diferențe datorându-se modului de calcul diferit, respectiv: pentru abscise discrete în cazul interpolării spline și numeric prin metoda bisecției, pentru cazul exprimării frontierei profilului prin coeficienți Fourier.

Tabel 4.18 Parametrii geometrici profile netezite

Secțiunea	Grosime relativă maximă	Poziție grosime relativă maximă		Săgeată relativă maximă	Poziție săgeată relativă maximă	
	d/L	X_d/L	$\varphi d/L$	f/L	X_f/L	$\varphi f/L$
	[-]	[-]	[°]	[-]	[-]	[°]
1	0.106	0.403	101.234	0.068	0.435	97.471
2	0.073	0.369	105.190	0.051	0.370	105.088
3	0.050	0.359	106.382	0.031	0.384	103.359
4	0.032	0.391	102.637	0.021	0.383	103.535
5	0.022	0.402	101.260	0.014	0.416	99.619
6	0.015	0.282	115.801	0.010	0.497	90.288

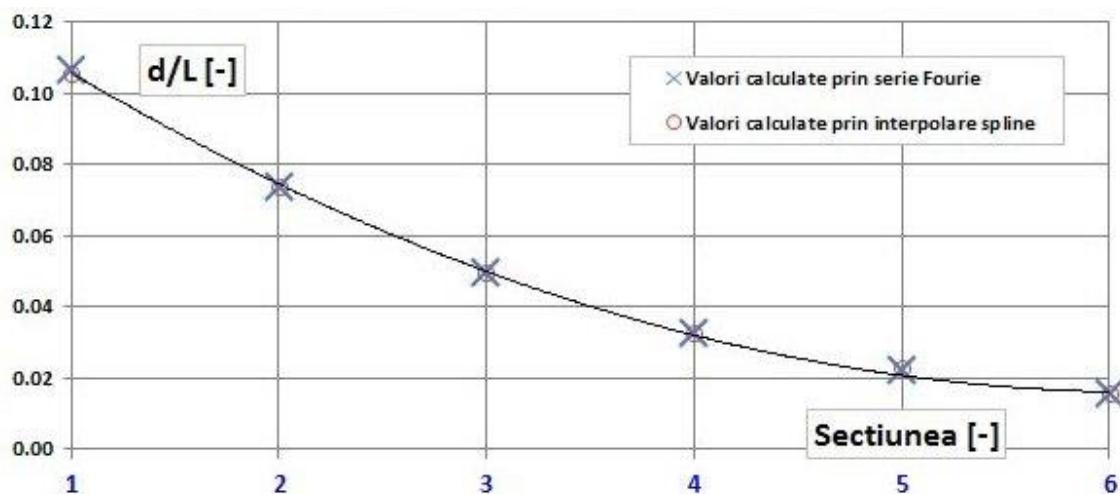


Fig. 4.57 Comparație grosime relativă maximă d/L

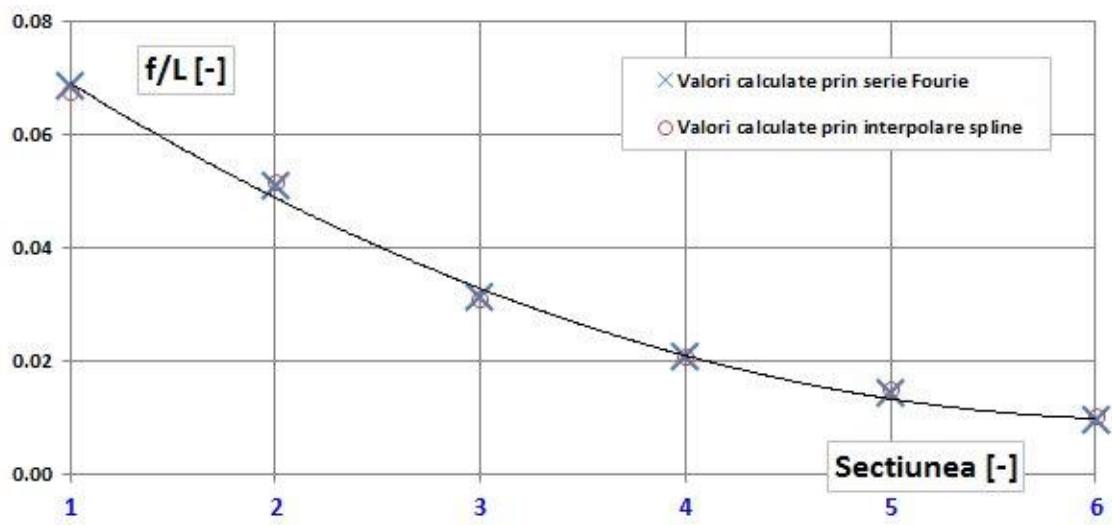


Fig. 4.58 Comparație săgeată relativă maximă f/L

Aplicații axate pe fotogrametrie în domeniul mecanic nu sunt atât de răspândite în literatură; dar se pot aminti totuși referințele [7], [23], [25], [37], [44], [55] și [74].

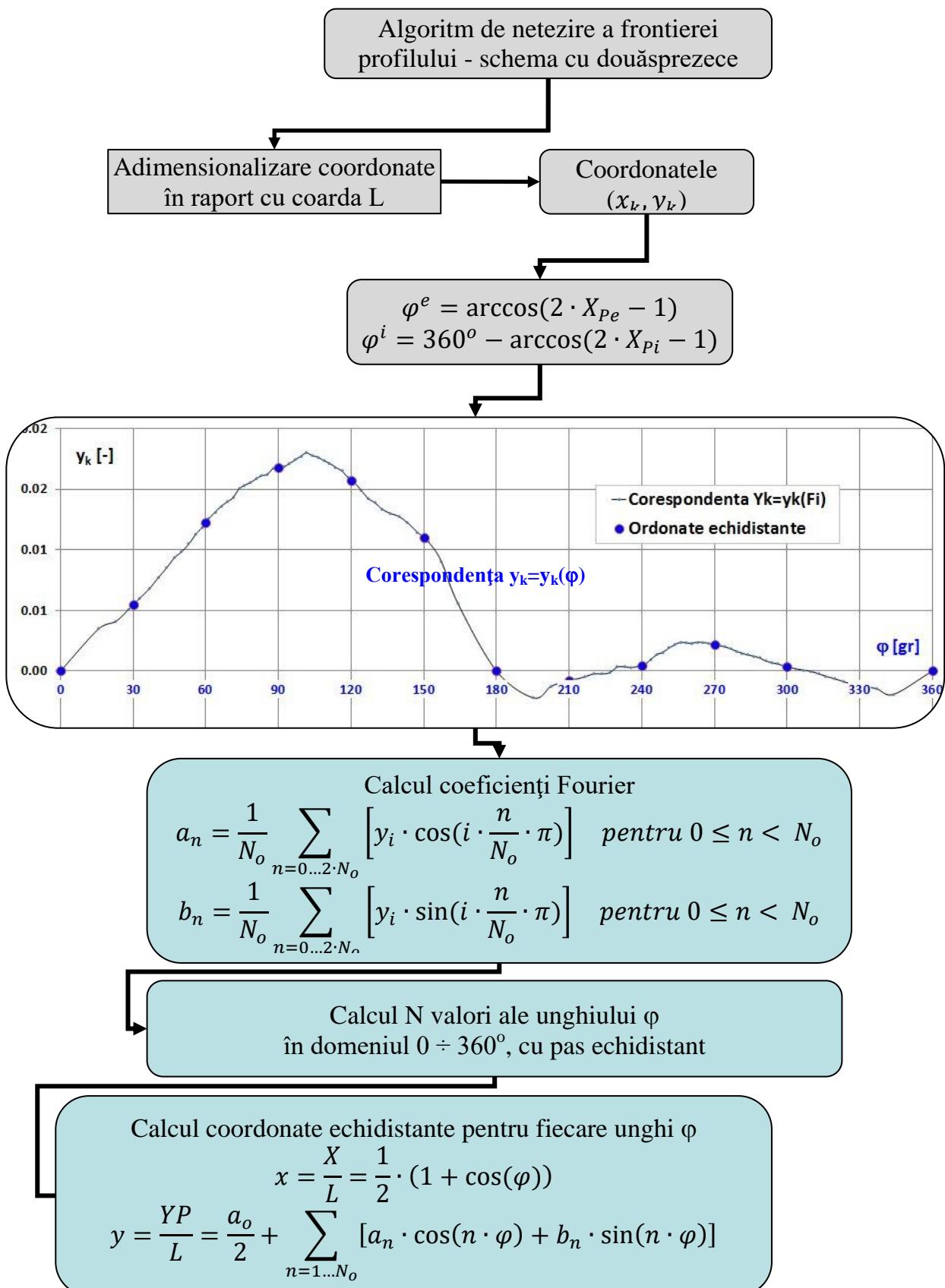


Fig. 4.59 Schemă logică a algoritmului de netezire a frontierei profilului

4.2 Concluzii

1. Geometria paletei scanate nu este perfectă, fiind o paletă executată, care trebuie să se încadreze într-un domeniu de toleranțe impus prin documentația de execuție. Fiind afectată de erori de execuție, paleta nu este identică cu cea din proiect. De asemenea, procesul de scanare este afectat de erori care apar în orice proces de măsurare.

2. Comparațiile prezentate se referă la o paletă teoretică, care nu corespunde 100% cu cea reală executată și scanată. Erorile sunt afectate și de: calitatea camerei și setările impuse pentru fotografiere, numărul și calitatea pozelor, setările impuse aplicației Agisoft Photoscan, corectitudinea aliniamentului geometriilor realizat pentru comparație în aplicația GOM Inspect, configurația calculatorului. Reducerea diferențelor se poate face prin creșterea numărului de poze achiziționate, utilizarea unui aparat foto profesional cu caracteristici tehnice superioare, îmbogățirea experienței în utilizarea tehnicii fotogrametriei, precum și a programelor de prelucrare a informațiilor asociate acesteia.

3. Comparând parametrii geometrici determinați prin scanare cu fotogrametrie cu parametrii de proiectare, abaterea maximă a coardei profilului este de 1,07%, în timp ce pentru unghiul de instalare β_S abaterea este de 3,89%. Grosimea relativă d/L și poziția sa X_d/L , săgeata maximă f/L și poziția sa X_f/L au fost calculate utilizând două metode: prin interpolare spline pentru valori echidistante și discrete ale absciselor X_{spline} și prin schema cu douăsprezece ordonate împreună cu metoda bisecției. Valorile rezultate sunt foarte apropiate și se înscriu în recomandările generale găsite în literatura de specialitate pentru proiectarea paletelor de turbine [5], [6], [26].

4. Se propune și se validează, prin valori comparative calculate, un algoritm de netezire pentru frontiera profilului pe baza unei serii Fourier. Acest algoritm poate compensa abaterile care apar din procesul de scanare a unei palete reale, indiferent dacă se utilizează tehnologia de scanare laser sau fotogrametrie.

Cap. 5 APLICAȚII DE RECONSTITUIRE A GEOMETRIEI ROTORULUI FRANCIS

5.1 Reconstituirea rotorului Francis

În cadrul acestui capitol se va prezenta reconstituirea unui rotor Francis industrial cu diametrul 1160 mm și 19 palete, cu o durată de funcționare de circa 50 ani și care se află în echiparea unei turbine aflată într-un amplu proces de retehnologizare, [figura 5.1 \[14\]](#). În cadrul lucrării [\[21\]](#) este descris principiul de funcționare și modul de lucru al unui rotor Francis.

Pentru acest rotor nu există desene de execuție care să includă dimensiuni principale și profilarea paletelor. Reconstituirea geometriei s-a finalizat cu desene de execuție pe baza cărora se vor fabrica noi rotoare ce vor înlocui rotoarele existente.



Fig. 5.1 Geometria rotorului Francis de referință

Etape reconstituirii rotorului Francis sunt următoarele:

- scanarea 3D a geometriei rotorului prin pozare digitală;
- preluarea informațiilor digitale într-un program specializat și aplicarea fotogrametriei;
- construirea modelului 3D a geometriei rotorului;
- generare desen de execuție.

Rotorul prezintă, după circa 50 de ani de funcționare, urme pronunțate de uzură, suprafete cu porozitate ridicată și zone cu fisuri, după cum rezultă din figurile următoare.



Fig. 5.2 Constatarea vizuală a uzurilor rotorului

Pentru reconstituirea geometriei rotorului Francis, condițiile care au trebuit să fie asigurate de către beneficiar, sunt următoarele: așezarea rotorului pe un suport orizontal, asigurarea unui spațiu de lucru cu lumină în jurul rotorului pe o rază de minim 4 m, asigurare posibilitate de

manipulare a rotorului cu macara, punerea la dispoziția executantului a documentației cu pașapoartele de recepție (dacă acestea există) sau a dimensiunilor măsurate de către compartimentul CTC al uzinei.

Achiziția imaginilor fotografice cu un aparat foto de calitate și poziționat pe un trepied; rotorul Francis a fost fotografiat prin intermediul unei camere foto CANON EOS 600D, generându-se 133 de capturi imagine din diferite unghiuri, care acoperă 360 de grade din circumferința volumului rotorului [figura 5.3](#).



Fig. 5.3 Succesiune de capturi imagine ale rotorului Francis [14]

Importul fotografiilor în programul Agisoft Photoscan, este prezentat în [figura 5.4](#). Norul rar de 5.326 puncte (*sparse cloud*) este prezentat în [figura 5.5](#), iar norul dens de 12.891.212 este prezentat în [figura 5.6](#). Calibrarea norului de puncte, adică scalarea geometriei la valorile reale, pe baza unor distanțe cunoscute din dimensiunile obiectului real se prezintă în [figura 5.7](#).

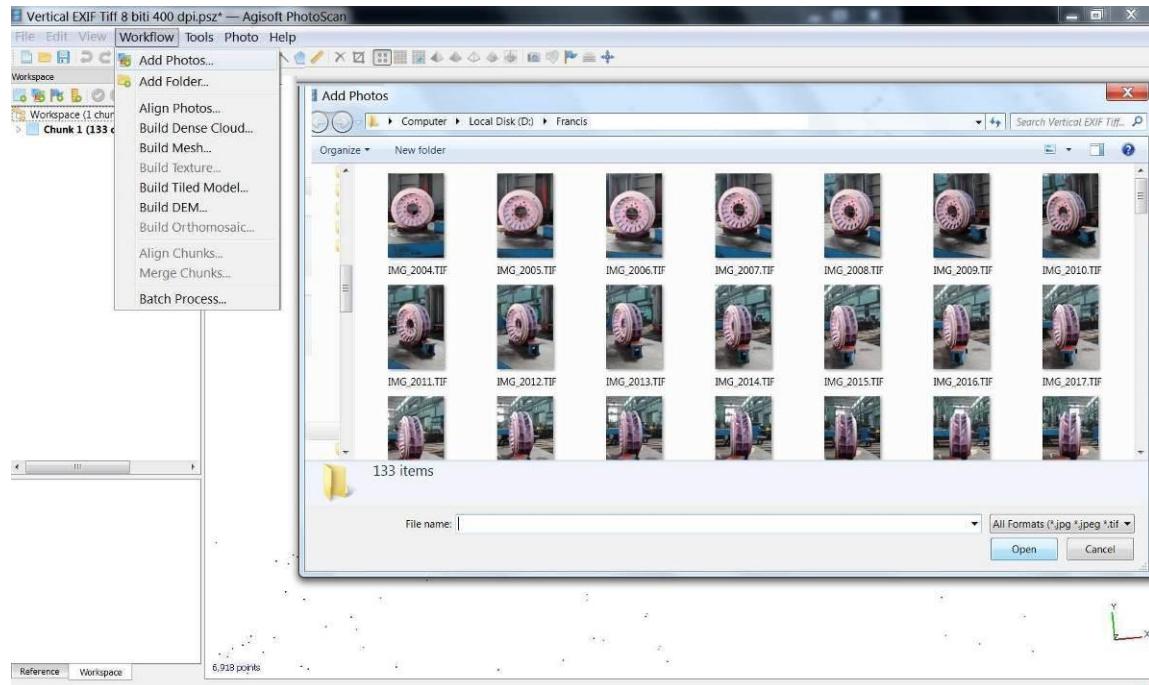


Fig. 5.4 Inserarea imaginilor în programul Agisoft Photoscan

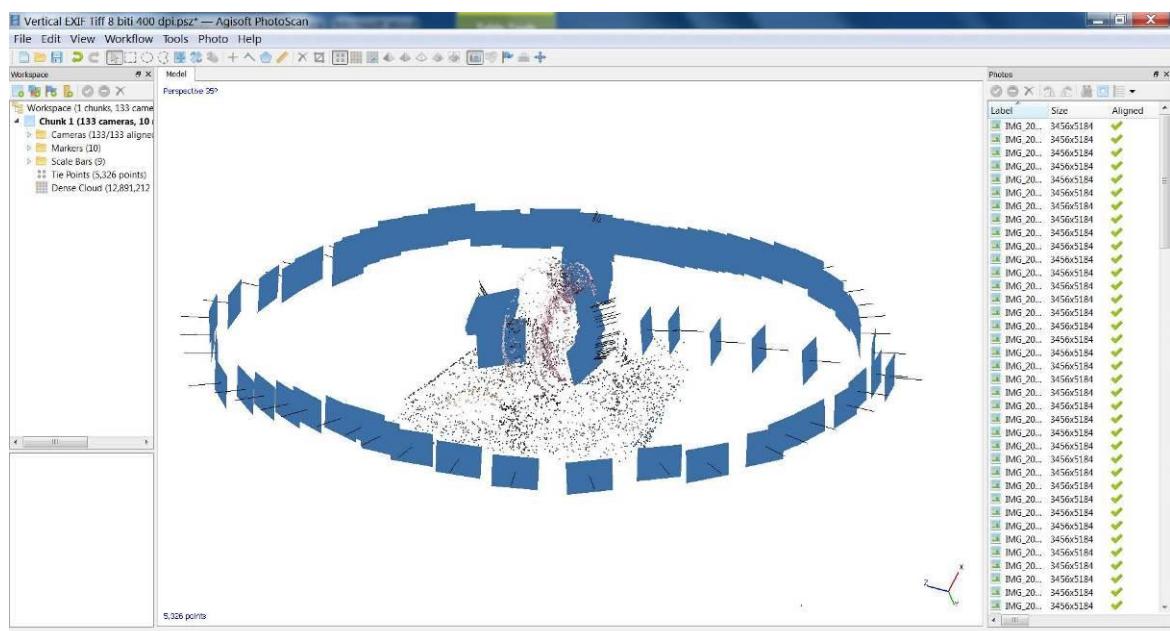


Fig. 5.5 Imagini aliniate în programul Agisoft Photoscan și generare nor rar de 5326 puncte

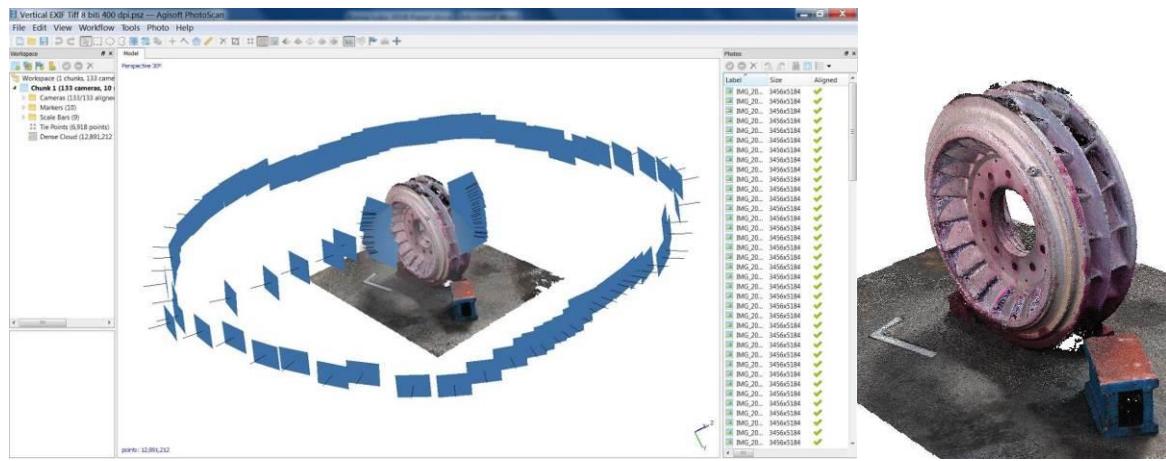


Fig. 5.6 Generare nor dens de 12.891.212 puncte în programul Agisoft Photoscan

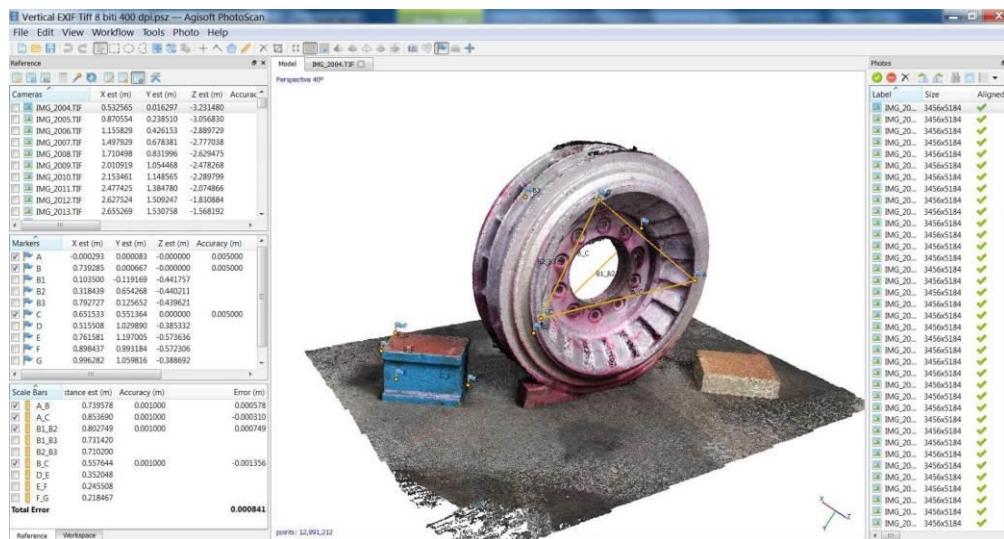


Fig. 5.7 Calibrarea norului de puncte

Modelul geometric al rotorului s-a generat pe calculator utilizând programele *Geomagic Design X* respectiv *SolidWorks*.

Pentru reconstituirea geometriei rotorului s-au utilizat informațiile preluate din scanarea digitală. Prelucrarea datelor scanate s-a realizat prin programul specializat *Geomagic Design X*, de unde au rezultat coordonatele X, Y, Z pentru suprafețele geometriei rotorului. Aceste coordonate au fost importate în programul de proiectare asistată *SolidWorks*, rezultând astfel geometria rotorului.

Scopul propus este de a genera geometria rotorului Francis în format solid. Fazele de reconstituire a geometriei rotorului care trebuie parcursă sunt următoarele:

- importul norului dens de puncte (12.891.212 puncte) în programul Geomagic Design X, [figura 5.8](#);
- triangularizarea norului de puncte, etape în care s-a generat o rețea de 6.491.472 triunghiuri;
- generarea discului median, alte două discuri și 1 paletă în programul Geomagic Design X, [figura 5.9](#);
- exportarea discului median, celelalte două discuri și 1 paletă în programul SolidWorks;
- generarea geometriei rotorului în format solid în programul SolidWorks, [figura 5.10](#);
- realizarea desenului de execuție al rotorului în aplicația SolidWorks, [figura 5.11](#).

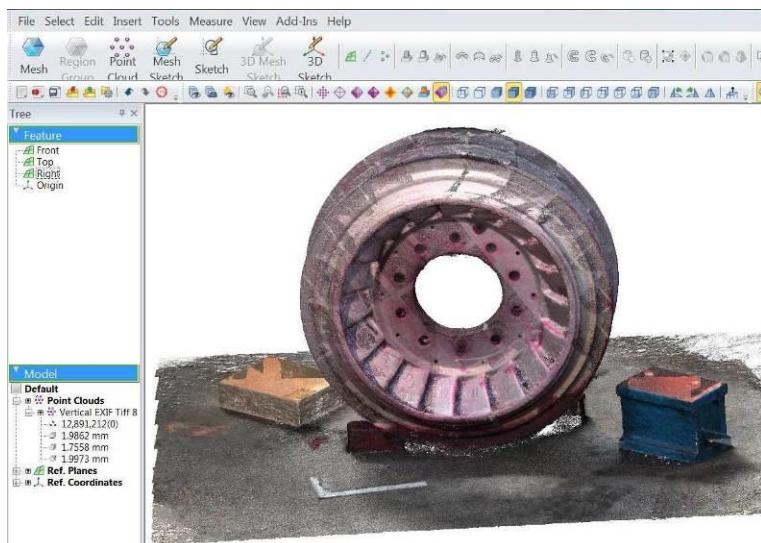


Fig. 5.8 Importarea norului de puncte în programul Geomagic Design X

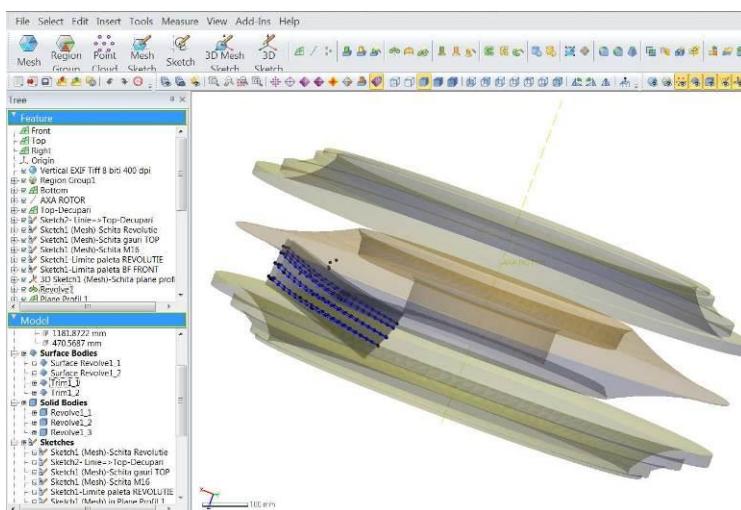


Fig. 5.9 Discul median două alte discuri și o paletă în programul Geomagic Design X

În cadrul figurii prezentate mai jos se observă geometria modelului tridimensional procesat prin intermediul aplicației SolidWorks.

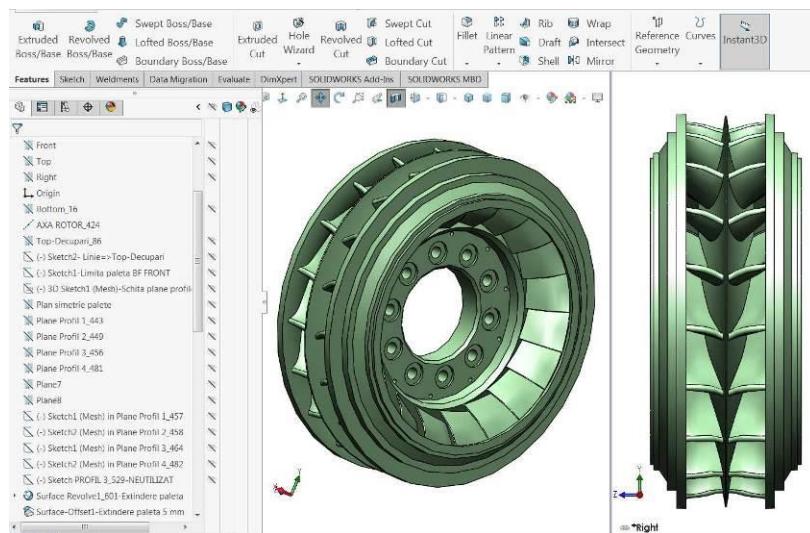


Fig. 5.10 Formatul modelului tridimensional solid în aplicația SolidWorks

Pe baza acestei geometrii se va genera desenul rotorului Francis din [figura 5.11](#).

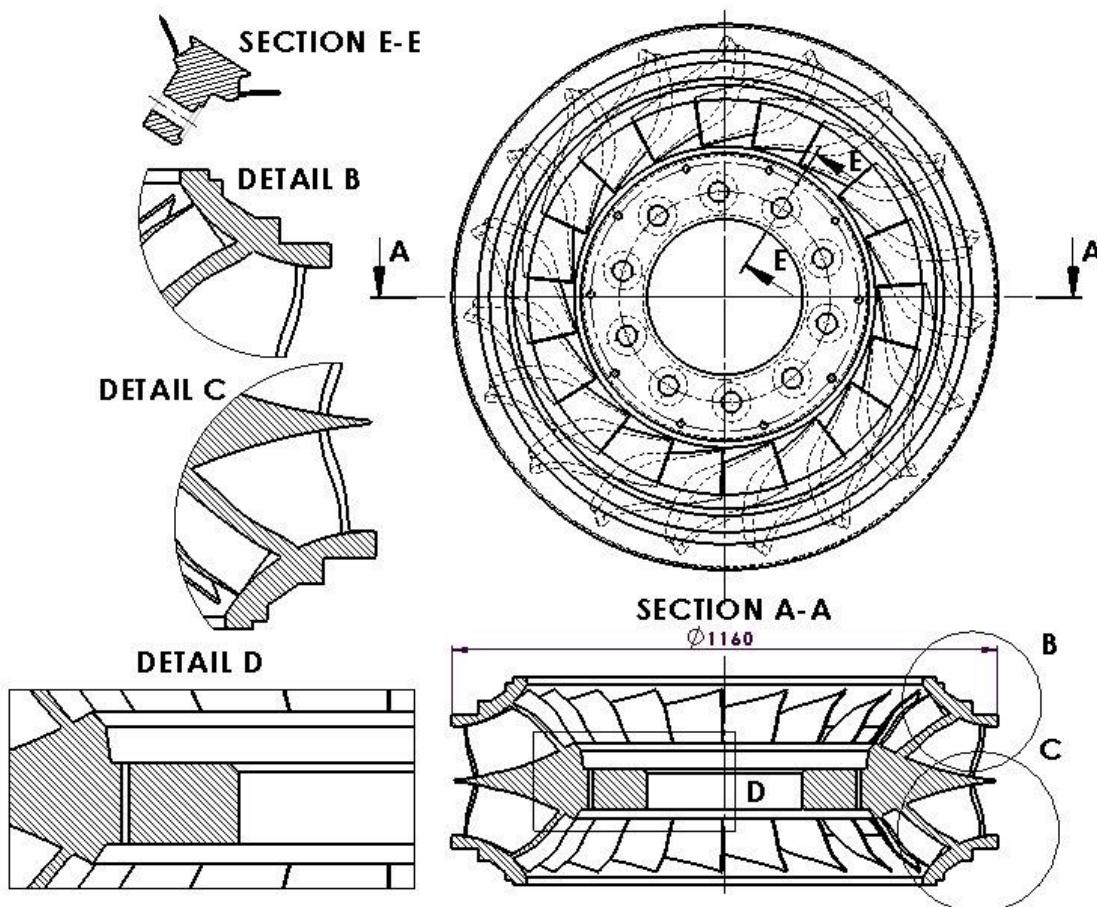


Fig. 5.11 Desenul de execuție al rotorului Francis

Preocupări similare cu aplicare în domeniul mecanic sunt puține, dar pentru tehnica de digitizare prin scanare 3D similară cu fotogrametria, se exemplifică lucrările: [18], [19], [32], [35], [47] și [65].

5.2 Concluzii

În cadrul acestui capitol se prezintă reconstituirea prin fotogrametrie a geometriei unui rotor Francis industrial.

Reconstituirea rotorului Francis cu diametrul 1160 mm și 19 palete a fost necesară deoarece, după 50 de ani de operare în centrală, au apărut uzuri ale acestuia, care au afectat buna funcționare. În lipsa desenelor de execuție și a furnizorului inițial al rotorului, singura posibilitate de rezolvare a problemei a fost utilizarea ingineriei inverse cu aplicarea fotogrametriei. După scanarea propriu-zisă a rotorului, geometria acestuia a fost modelată tridimensional și s-au generat desenele de execuție în SolidWorks.

Pe baza aplicațiilor prezentate în lucrare, se poate concluziona că tehnica modernă și avansată de inginerie inversă prin fotogrametrie poate fi utilizată cu succes în domeniul mecanic pentru a reconstitui obiecte cu geometrii complexe, cum este și cazul rotoarelor de turbine hidraulice.

Cap. 6 APLICAȚII DE RECONSTITUIRE A GEOMETRIEI UNEI PALETE MODEL AXIALE ȘI A UNEI CUPE MODEL PELTON

6.1 Reconstituirea geometriei unei palete model axiale

În cadrul acestui capitol se va prezenta reconstituirea geometriei unui palete model axială. Pentru această paletă nu există desene de execuție care să includă dimensiuni principale și profilarea paletelor. Reconstituirea geometriei s-a finalizat cu desene de execuție pe baza cărora se pot fabrica palete model pentru încercări experimentale pe stand. Paleta este fabricată din aluminiu, iar greutatea acesteia este 528 grame, [figura 6.1](#).



Fig. 6.1 Geometria paletei model axiale

Achiziția imaginilor fotografice s-a realizat cu aparatul foto de calitate NIKON D610 poziționat pe un trepied, generându-se 78 de capturi imagine din diferite unghiuri succesive, care acoperă 720 de grade pe periferia paletei (pe două nivele), **figura 6.2**. Parametrii de fotografiere utilizati au fost următorii: **Focal length 50, F-stop F/11, ISO 1600, Shutter 1/125**.

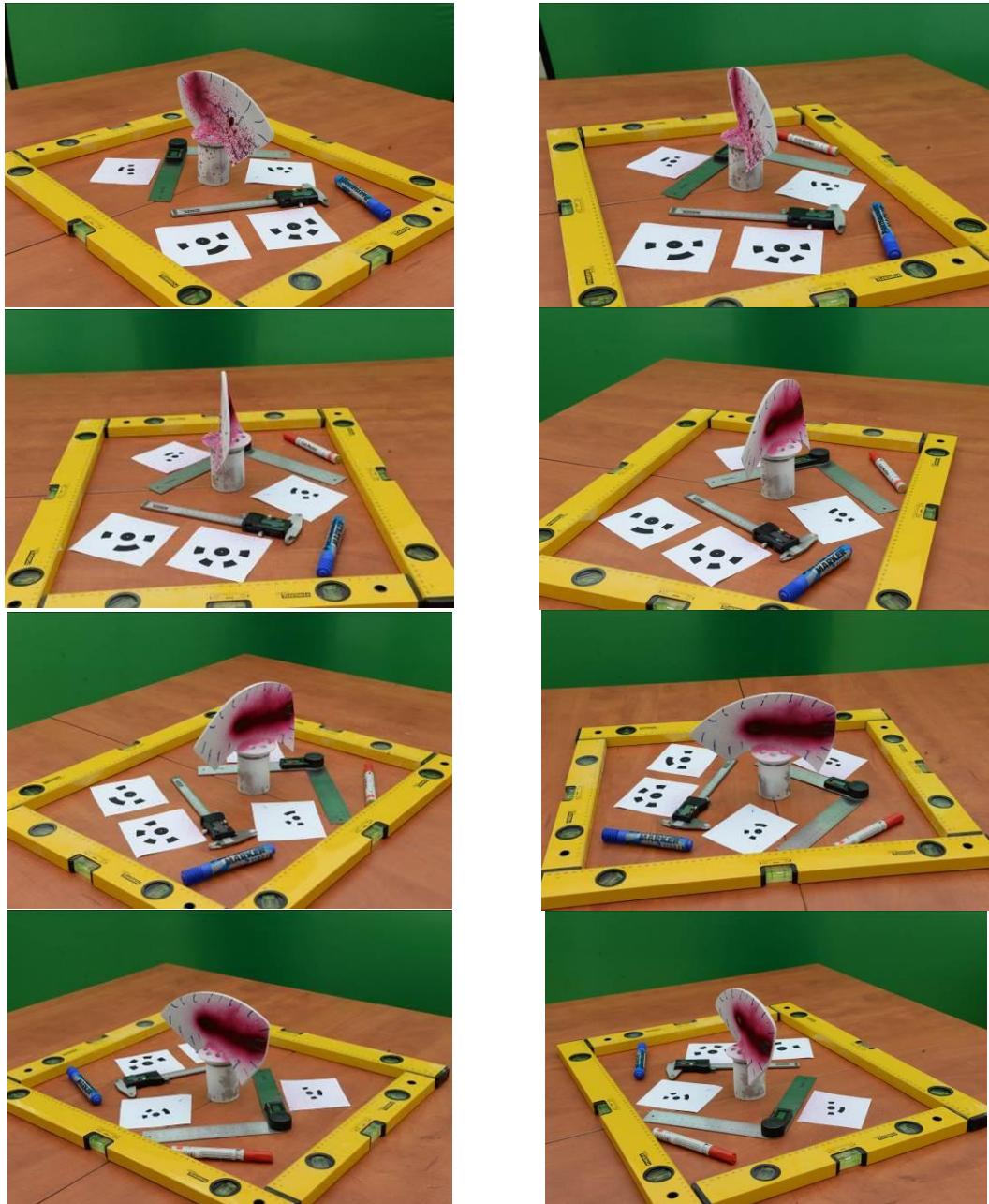


Fig. 6.2 Succesiune de capturi imagine ale paletei axiale

Etape reconstituirii paletei model axiale sunt următoarele:

- scanarea 3D a geometriei paletei prin pozare digitală;
- preluarea informațiilor digitale într-un program specializat și aplicarea fotogrametriei;
- construirea modelului 3D a geometriei paletei și generarea desenului de execuție.

6.2 Generarea norului de puncte prin fotogrametrie

Importul fotografiilor în programul Agisoft Photoscan, este prezentat în figura 6.3. Norul rar de 169.445 puncte (*sparse cloud*) este prezentat în figura 6.4, iar norul dens de 1.780.197 puncte este prezentat în figura 6.5. Calibrarea norului de puncte (scalarea geometriei la valorile reale), pe baza unor distanțe cunoscute se prezintă în figura 6.6.

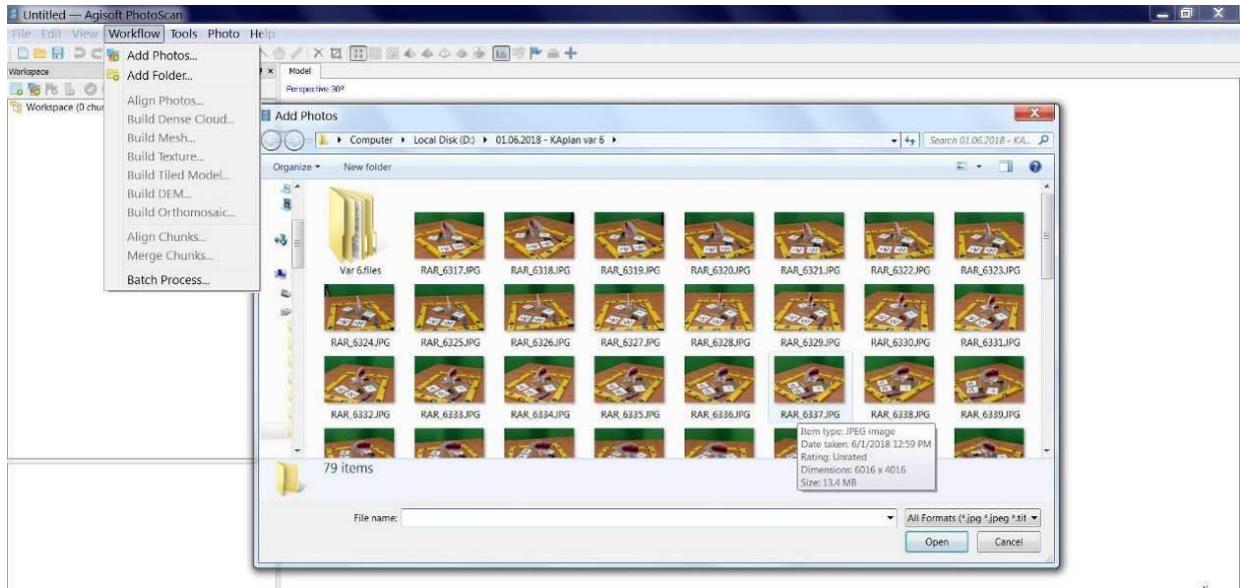


Fig. 6.3 Inserarea imaginilor în programul Agisoft Photoscan

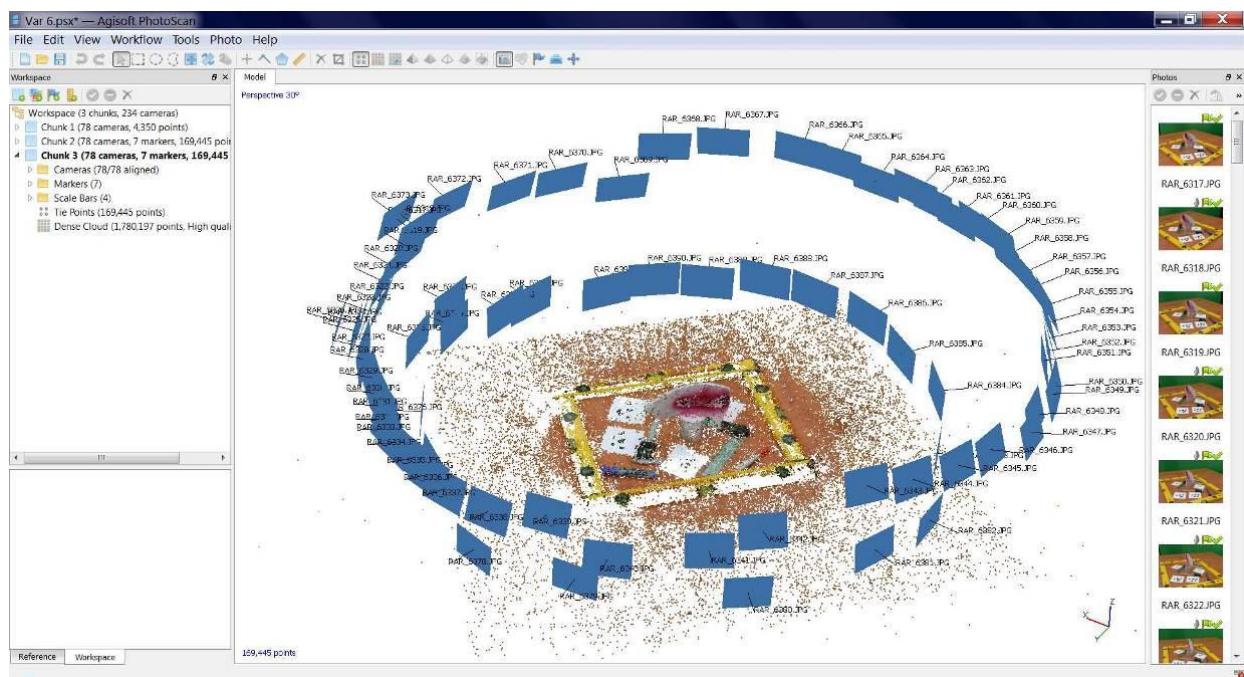


Fig. 6.4 Imagini aliniate în programul Agisoft Photoscan și generare nor rar de 169.445 puncte

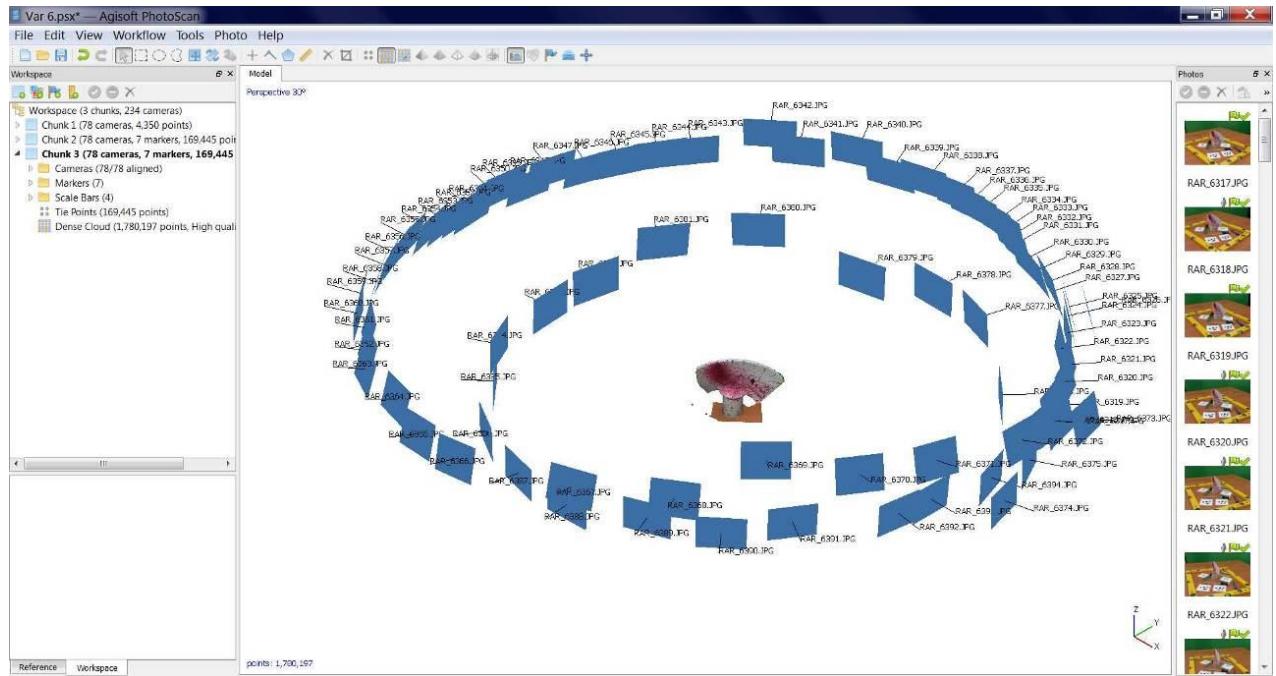


Fig. 6.5 Generare nor dens de 1.780.197 puncte în programul Agisoft Photoscan

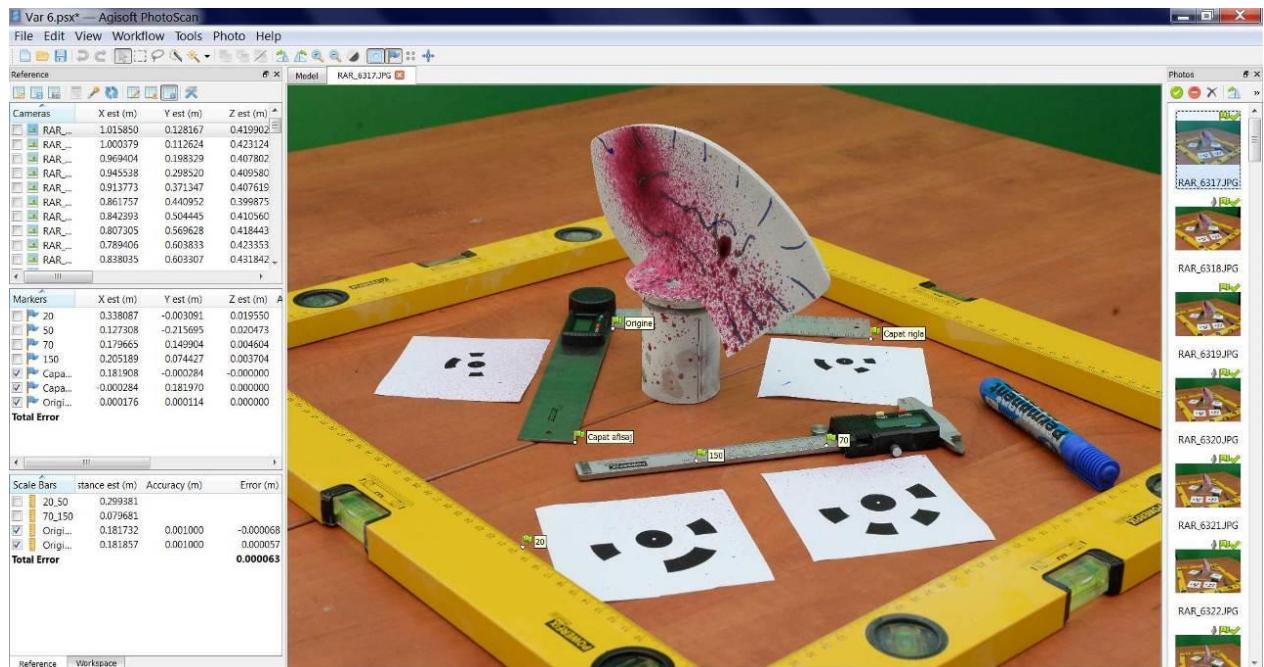


Fig. 6.6 Calibrarea norului de puncte în programul Agisoft Photoscan

Norul de puncte generat în programul Agisoft Photoscan a fost exportat în format OBJ, pentru a fi importat în programul Geomagic Design X. Modelul geometric al paletei s-a generat pe calculator utilizând programele Geomagic Design X respectiv SolidWorks, scopul acestei etape fiind generarea geometriei paletei în format solid.

6.3 Generarea profilelor paletei în programul Geomagic Design X

Etapele parcuse au fost următoarele:

- importul norului dens de puncte (1.780.197 puncte) în Geomagic Design X, [figura 6.7](#);
 - triangularizarea norului de puncte; în această etapă programul generează o rețea de triunghiuri similară cu discretizarea din analiza cu elemente finite; pentru această paletă s-au generat 863,228 triunghiuri, [figura 6.8](#);
 - generarea a 6 profile în Geomagic Design X, rezultate din intersecția triangularizării cu 6 cilindrii cu următoarele raze impuse: 92, 107, 122, 137, 152, 167 mm; de asemenea s-au generat cercurile caracteristice fusului paletei, [figura 6.9](#);
 - exportul profile de intersecție și a cercurilor caracteristice fusului în SolidWorks.

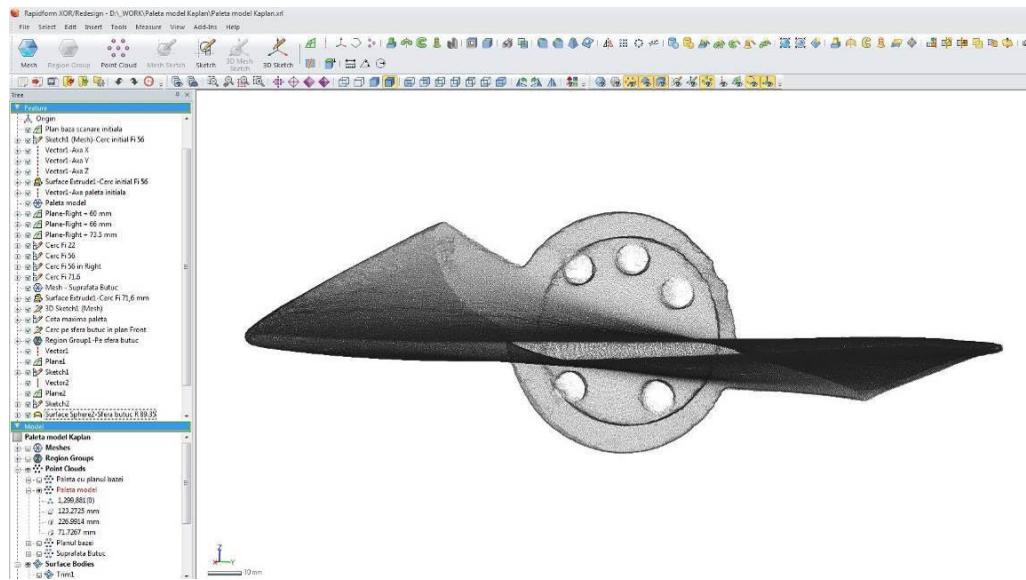


Fig. 6.7 Importarea norului de puncte în programul Geomagic Design X

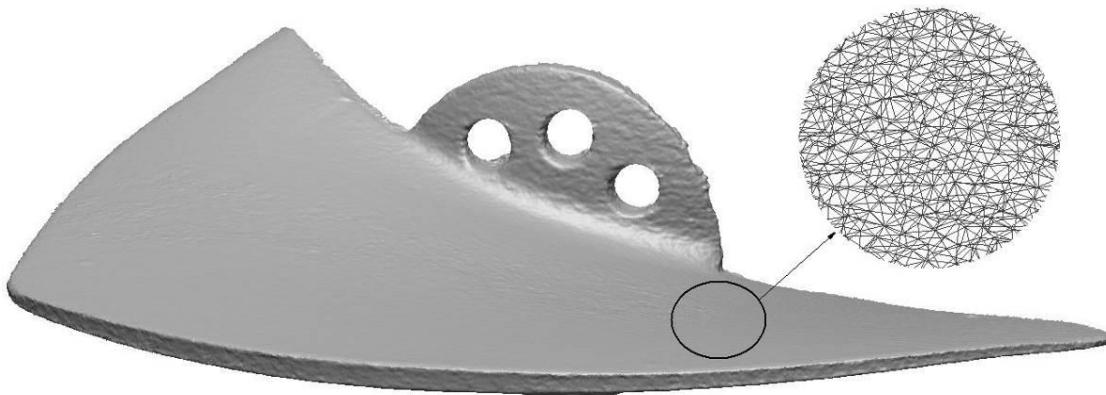


Fig. 6.8 Triangularizarea norului de puncte în programul Geomagic Design X

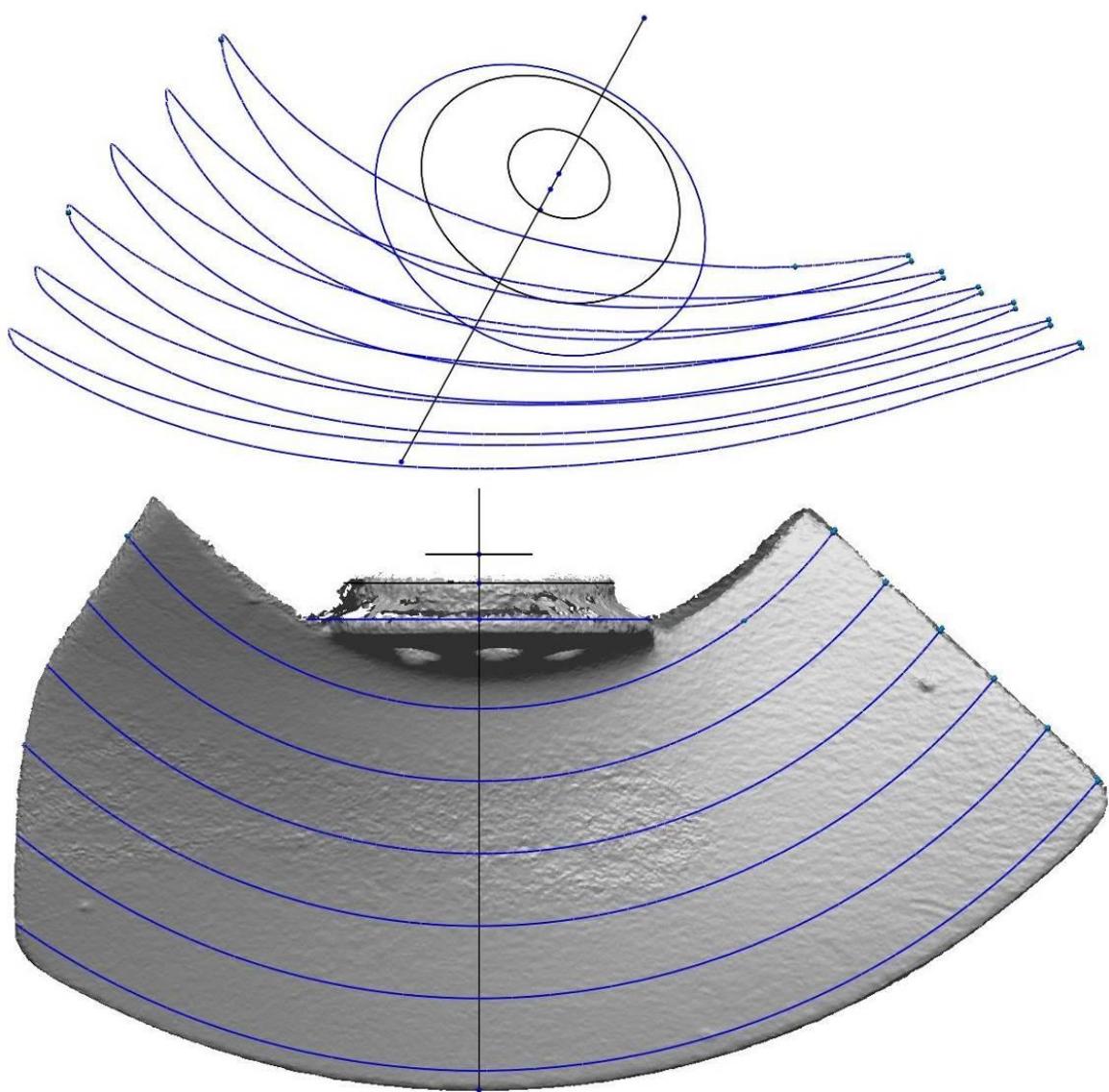


Fig. 6.9 Generarea a 6 profile de intersecție și a cercurilor caracteristice fusului paletei în programul Geomagic Design X

6.4 Netezirea frontierei profilelor și generarea geometriei solide a paletei în SolidWorks

Profilele de intersecție ale celor 6 secțiuni au fost importate în SolidWorks. Intersecția geometriei scanate a paletei cu cilindrii poate genera profile cu o frontieră ușor neregulată, mai ales în zona bordului de atac. Aceasta este o problemă comună a scanerelor, care poate genera erori în zonele cu luminozitate mai redusă, cum ar fi racordări, teșituri, găuri, filete sau bordul de atac al paletei, aşa cum este și cazul de față, după cum rezultă din [figura 6.10](#). Din acest motiv se impune netezirea frontierei profilelor, conform metodologiei expuse în [\[10\]](#) & [4.1.6](#). Pentru fiecare profil a fost corectată curba de la bordul de atac prin trasarea unei curbe spline 3D, care să eliminate neregularitățile din [figura 6.10](#). În continuare au fost extrase din SolidWorks printr-un macro

(program în Vizual Basic) 95...98 coordonate tridimensionale (X, Y, Z), figura 6.11, de pe extradosul și intradosul profilului și exportate într-un fișier Excel. În zona bordului de atac pasul de extragere a punctelor a fost mult mult mai fin decât în restul profilelor. Coordonatele punctelor profilelor extrase pentru cele 6 secțiuni sunt prezentate în [tabelele 6.1 ÷ 6.6 \[10\]](#), unde:

- X_{3D}, Y_{3D}, Z_{3D} – sunt coordonatele spațiale ale punctului de pe profil, figura 6.33, [10] & 4.1.6;
- unghiul θ – este unghiul de disperare a punctului pe profil în raport cu axa X, figura 6.33, [10] & 4.1.6;
- Y_{desf} – corespunde coordonatei curbilinii a punctului de pe profil, figura 6.33, relația 6.4, [10] & 4.1.6;
- X_e/X_i – abscise intermediare de calcul, relația 4.7, [10] & 4.1.6;
- Y_e/Y_i – ordonate intermediare de calcul, relațiile 4.8 și 4.9, [10] & 4.1.6;
- X_{Pe}/X_{Pi} – abscise în sistemul de referință propriu al profilului, figura 4.35, relațiile 4.11 și 4.13, [10] & 4.1.6;
- Y_{Pe}/Y_{Pi} – ordonate extrados respectiv intrados în sistemul de referință propriu al profilului, figura 4.35, relațiile 4.10 și 4.12, [10] & 4.1.6;
- φ_e/φ_i - argumentul reprezentării parametrice pentru punctele de pe extradosul respectiv intradosul profilului în sistemul de referință propriu, relațiile 4.15 și 4.16, [10] & 4.1.6.

[Figurile 6.12 ÷ 6.17](#) prezintă cele 6 profile adimensionale în sistemul de referință propriu. Pentru creșterea preciziei a fost necesară utilizarea schemei cu 24 de ordonate [29]. Pentru fiecare abscisă X_{spline} , prin interpolare spline [10] a punctelor extradosului, s-au calculat valorile ordonatelor $Y_{E_{spline}}$ corespunzătoare absciselor echidistante, tabelul 6.7. Figura 6.18 prezintă variația ordonatelor profilului $Y_{E_{spline}}$ în raport cu unghiul φ pentru cele 6 secțiuni de calcul. Pe baza coordonatelor echidistante, prin [relațiile 4.23 și 4.24 \[10\]](#), s-au calculat coeficienții seriei Fourier pentru fiecare profil în parte, tabelul 6.8. În consecință, frontiera netezită a profilelor se poate exprima analitic prin serie Fourier, conform [relațiilor 4.19 ÷ 4.22 \[10\]](#).

[Figura 6.19](#) prezintă diferențele în mm între punctele profilul scanat și cel recalculat prin serie Fourier, ambele exprimate în sistemul de referință propriu, pentru cele 6 secțiuni de calcul. Se observă că abaterile între profile se încadrează în domeniul $\pm 0,1$ mm, exceptând zona bordului de atac (unghi φ cuprins între $160 \div 200$ grade), unde abaterile sunt mai mari, după cum rezultă din [figura 6.10](#).

În continuare, prin [relațiile 6.1 ÷ 6.5](#), deduse pe baza [figurii 6.20](#), s-au recalculat coordonatele tridimensionale ale profilelor X_{3D} , Y_{3D} , Z_{3D} , plecând de la punctele frontierei netezite a profilelor

exprimate prin serie Fourier. Aceste puncte au fost importate în SolidWorks, pe baza cărora s-a generat modelul solid al paletei, [figura 6.21](#), din care rezultă că masa paletei reconstituite este de 544 grame, comparativ cu masa paletei reale de 528 grame, [figura 6.1](#). [Figura 6.22](#) prezintă desenul de execuție al paletei reconstituite.

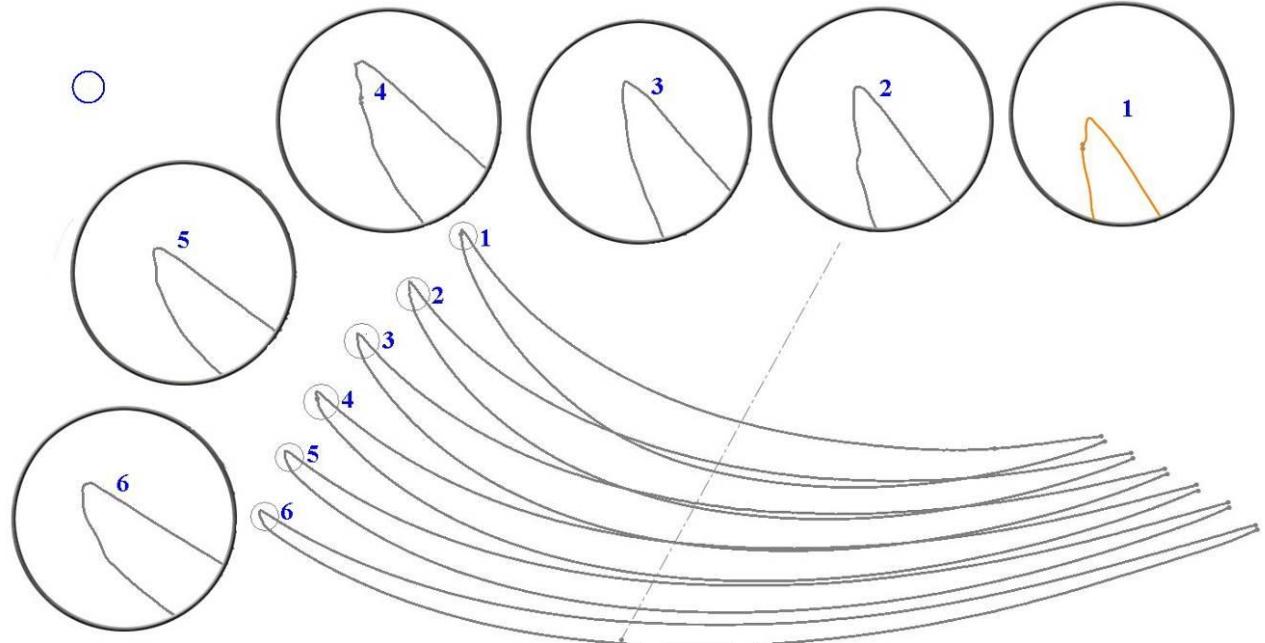


Fig. 6.10 Importul profilelor în SolidWorks și evidențierea erorilor la bordul de atac al profilelor

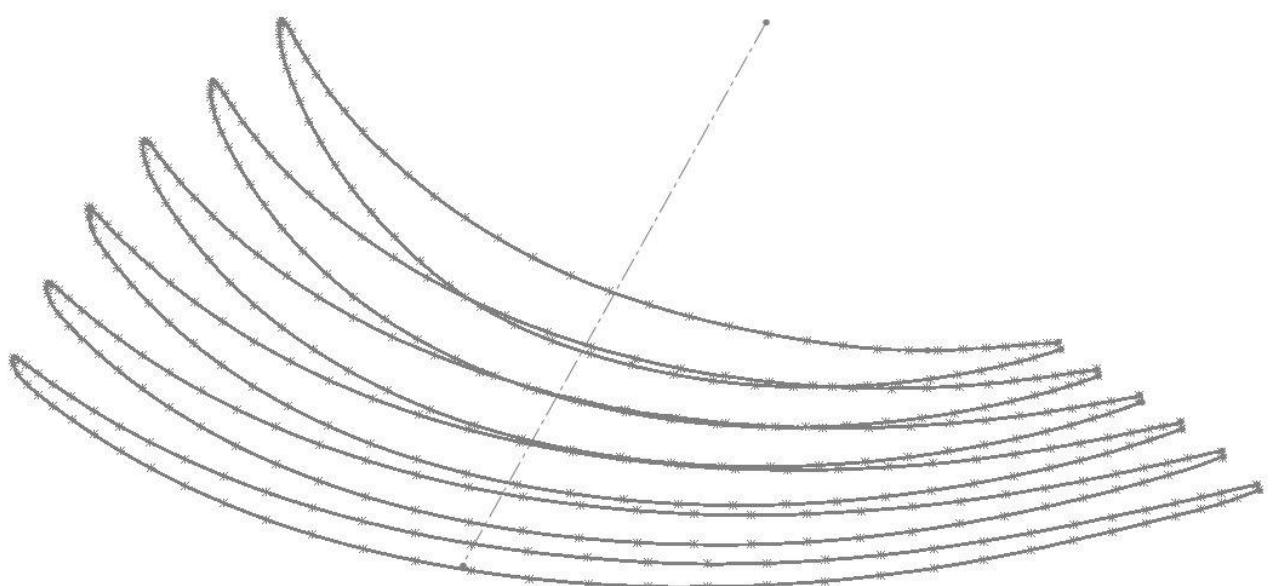


Fig. 6.11 Puncte generate pe profilele celor 6 secțiuni

Tabel 6.1 Coordonate profil secțiunea 1

Pct.	X _{3D}	Y _{3D}	Z _{3D}	θ	Y _{desf}	X _{e/X_i}	Y _{e/Y_i}	X _{Pe/X_{Pi}}	Y _{Pe/Y_{Pi}}	φ _{e/φ_i}
	mm	mm	mm	radiani	mm	mm	mm	[-]	[-]	grade
	Coordonate spațiale Figura 4.32			Figura 4.32	Rel. 4.4	Rel. 4.7	Rel. 4.8 Rel. 4.9	Rel. 4.1 Rel. 4.13	Rel. 4.10 Rel. 4.12	Rel. 4.15 Rel. 4.16
BF	55.23	73.58	-15.43	0.926936	85.28	169.21	0.00	1.0000	0.0000	0.00
1	59.52	70.15	-15.96	0.867237	79.79	163.72	-0.53	0.9697	0.0098	20.05
2	63.81	66.28	-15.45	0.804356	74.00	157.93	-0.01	0.9364	0.0140	29.21
3	67.85	62.13	-14.95	0.741467	68.21	152.15	0.49	0.9032	0.0184	36.25
4	71.62	57.74	-14.49	0.678535	62.43	146.36	0.95	0.8700	0.0230	42.27
5	75.11	53.12	-14.06	0.615581	56.63	140.56	1.37	0.8368	0.0278	47.65
6	78.31	48.29	-13.69	0.552528	50.84	134.77	1.75	0.8037	0.0328	52.60
7	81.19	43.26	-13.30	0.489591	45.04	128.97	2.14	0.7705	0.0378	57.25
8	83.75	38.07	-12.88	0.426633	39.25	123.18	2.56	0.7373	0.0426	61.66
9	85.98	32.72	-12.48	0.363652	33.46	117.39	2.95	0.7042	0.0476	65.90
10	87.87	27.25	-12.07	0.300674	27.66	111.59	3.36	0.6710	0.0524	70.00
11	89.41	21.67	-11.61	0.23774	21.87	105.80	3.83	0.6378	0.0570	74.00
12	90.60	16.01	-11.11	0.17486	16.09	100.02	4.32	0.6046	0.0614	77.93
13	91.42	10.28	-10.55	0.112015	10.31	94.24	4.88	0.5713	0.0654	81.80
14	91.89	4.52	-9.99	0.049172	4.52	88.46	5.45	0.5380	0.0693	85.64
15	91.99	-1.25	-9.40	-0.01363	-1.25	82.68	6.04	0.5047	0.0732	89.46
16	91.73	-7.02	-8.76	-0.07638	-7.03	76.90	6.67	0.4714	0.0767	93.28
17	91.11	-12.75	-8.04	-0.13902	-12.79	71.14	7.39	0.4380	0.0798	97.13
18	90.14	-18.40	-7.16	-0.20141	-18.53	65.40	8.28	0.4045	0.0820	101.01
19	88.83	-23.96	-6.07	-0.26342	-24.23	59.70	9.37	0.3710	0.0829	104.95
20	87.19	-29.37	-4.76	-0.32491	-29.89	54.04	10.68	0.3375	0.0825	108.97
21	85.24	-34.60	-3.16	-0.38561	-35.48	48.46	12.27	0.3040	0.0804	113.07
22	83.02	-39.65	-1.38	-0.4456	-41.00	42.94	14.06	0.2707	0.0772	117.30
23	80.50	-44.54	0.48	-0.50534	-46.49	37.44	15.92	0.2374	0.0735	121.68
24	77.71	-49.24	2.42	-0.56482	-51.96	31.97	17.85	0.2042	0.0694	126.27
25	74.65	-53.77	4.33	-0.62419	-57.43	26.51	19.77	0.1710	0.0654	131.15
26	71.36	-58.06	6.40	-0.68299	-62.84	21.10	21.83	0.1380	0.0604	136.39
27	67.92	-62.05	8.79	-0.74029	-68.11	15.82	24.23	0.1053	0.0535	142.14
28	64.26	-65.84	11.22	-0.79748	-73.37	10.56	26.65	0.0726	0.0463	148.74
29	63.83	-66.26	11.55	-0.80407	-73.97	9.96	26.98	0.0688	0.0452	149.59
30	63.39	-66.68	11.88	-0.81066	-74.58	9.35	27.31	0.0649	0.0441	150.47
31	62.95	-67.09	12.21	-0.81726	-75.19	8.74	27.64	0.0611	0.0430	151.37
32	62.50	-67.51	12.54	-0.82387	-75.80	8.14	27.97	0.0573	0.0419	152.30
33	62.06	-67.92	12.87	-0.83047	-76.40	7.53	28.30	0.0535	0.0408	153.26
34	61.61	-68.33	13.20	-0.83706	-77.01	6.92	28.63	0.0496	0.0397	154.26
35	61.16	-68.73	13.53	-0.84364	-77.61	6.32	28.96	0.0458	0.0385	155.28
36	60.71	-69.13	13.86	-0.85019	-78.22	5.71	29.30	0.0420	0.0374	156.35
37	60.25	-69.52	14.20	-0.85673	-78.82	5.11	29.64	0.0382	0.0362	157.47
38	59.80	-69.91	14.55	-0.8632	-79.41	4.52	29.99	0.0344	0.0350	158.63
39	59.35	-70.29	14.92	-0.86957	-80.00	3.93	30.35	0.0306	0.0337	159.84
40	58.92	-70.66	15.31	-0.87575	-80.57	3.36	30.75	0.0269	0.0321	161.11

41	58.50	-71.01	15.74	-0.88167	-81.11	2.82	31.17	0.0233	0.0304	162.42
42	58.10	-71.33	16.20	-0.88722	-81.62	2.31	31.63	0.0199	0.0284	163.79
43	57.74	-71.63	16.70	-0.89235	-82.10	1.83	32.14	0.0166	0.0262	165.19
44	57.40	-71.90	17.24	-0.89703	-82.53	1.40	32.68	0.0135	0.0237	166.65
45	57.10	-72.13	17.82	-0.90119	-82.91	1.02	33.25	0.0106	0.0209	168.16
46	56.84	-72.34	18.42	-0.90483	-83.24	0.69	33.86	0.0080	0.0179	169.74
47	56.62	-72.52	19.05	-0.9079	-83.53	0.40	34.49	0.0056	0.0147	171.40
48	56.45	-72.65	19.71	-0.91033	-83.75	0.18	35.14	0.0036	0.0113	173.16
49	56.33	-72.75	20.38	-0.912	-83.90	0.03	35.81	0.0019	0.0077	175.06
50	56.27	-72.79	21.07	-0.91274	-83.97	-0.04	36.50	0.0006	0.0039	177.14
BA	56.30	-72.76	21.75	-0.9123	-83.93	0.00	37.19	0.0000	0.0000	180.00
51	56.44	-72.66	22.42	-0.91041	-83.76	0.17	37.86	0.0001	-0.0040	181.39
52	56.69	-72.46	23.03	-0.90693	-83.44	0.49	38.47	0.0012	-0.0078	183.96
53	57.03	-72.18	23.56	-0.90207	-82.99	0.94	38.99	0.0031	-0.0113	186.35
54	57.45	-71.85	23.99	-0.89624	-82.45	1.48	39.42	0.0056	-0.0144	188.55
55	57.92	-71.47	24.33	-0.88971	-81.85	2.08	39.76	0.0085	-0.0171	190.59
56	58.43	-71.07	24.56	-0.88269	-81.21	2.72	40.00	0.0119	-0.0192	192.51
57	58.95	-70.63	24.69	-0.87532	-80.53	3.40	40.12	0.0155	-0.0208	194.32
58	59.48	-70.19	24.69	-0.86783	-79.84	4.09	40.12	0.0194	-0.0216	196.02
59	60.00	-69.74	24.61	-0.86038	-79.15	4.78	40.04	0.0234	-0.0220	197.59
60	60.51	-69.30	24.49	-0.85298	-78.47	5.46	39.92	0.0274	-0.0222	199.05
61	61.02	-68.85	24.35	-0.84561	-77.80	6.14	39.79	0.0314	-0.0223	200.40
62	61.52	-68.40	24.21	-0.83826	-77.12	6.81	39.65	0.0354	-0.0223	201.68
63	62.02	-67.95	24.06	-0.83092	-76.44	7.49	39.50	0.0393	-0.0223	202.88
64	62.52	-67.49	23.91	-0.8236	-75.77	8.16	39.35	0.0433	-0.0223	204.03
65	63.01	-67.03	23.76	-0.81628	-75.10	8.83	39.19	0.0473	-0.0223	205.13
66	63.50	-66.57	23.61	-0.80896	-74.42	9.51	39.04	0.0513	-0.0222	206.18
67	63.99	-66.10	23.46	-0.80163	-73.75	10.18	38.90	0.0553	-0.0222	207.20
68	64.47	-65.63	23.32	-0.79429	-73.08	10.86	38.75	0.0593	-0.0223	208.18
69	68.38	-61.55	21.98	-0.73287	-67.42	16.51	37.41	0.0928	-0.0217	215.47
70	72.03	-57.24	20.63	-0.67147	-61.78	22.16	36.07	0.1263	-0.0211	221.63
71	75.40	-52.71	19.25	-0.61014	-56.13	27.80	34.68	0.1598	-0.0203	227.13
72	78.48	-48.01	17.83	-0.54897	-50.51	33.43	33.26	0.1933	-0.0193	232.16
73	81.28	-43.09	16.51	-0.4875	-44.85	39.08	31.95	0.2268	-0.0189	236.88
74	83.77	-38.04	15.11	-0.42624	-39.21	44.72	30.55	0.2603	-0.0180	241.36
75	85.94	-32.84	13.71	-0.36499	-33.58	50.35	29.14	0.2938	-0.0170	245.65
76	87.79	-27.51	12.30	-0.30372	-27.94	55.99	27.74	0.3273	-0.0161	249.80
77	89.31	-22.07	10.97	-0.24229	-22.29	61.64	26.40	0.3609	-0.0156	253.84
78	90.50	-16.55	9.63	-0.18088	-16.64	67.29	25.07	0.3944	-0.0150	257.80
79	91.34	-10.96	8.31	-0.11941	-10.99	72.95	23.75	0.4279	-0.0146	261.71
80	91.85	-5.32	7.03	-0.05788	-5.33	78.61	22.47	0.4614	-0.0144	265.57
81	92.00	0.35	5.81	0.003838	0.35	84.28	21.24	0.4949	-0.0145	269.42
82	91.80	6.03	4.61	0.065623	6.04	89.97	20.05	0.5284	-0.0148	273.26
83	91.25	11.69	3.41	0.127377	11.72	95.65	18.84	0.5620	-0.0151	277.12
84	90.36	17.29	2.18	0.189038	17.39	101.32	17.61	0.5955	-0.0152	281.01

85	89.12	22.83	0.94	0.250735	23.07	107.00	16.38	0.6290	-0.0153	284.95
86	87.55	28.27	-0.32	0.312353	28.74	112.67	15.11	0.6625	-0.0151	288.97
87	85.65	33.58	-1.70	0.373674	34.38	118.31	13.73	0.6960	-0.0143	293.08
88	83.44	38.76	-3.12	0.434873	40.01	123.94	12.31	0.7295	-0.0133	297.33
89	80.91	43.79	-4.56	0.496037	45.64	129.57	10.88	0.7630	-0.0122	301.74
90	78.09	48.65	-5.98	0.557173	51.26	135.19	9.46	0.7965	-0.0112	306.37
91	74.95	53.35	-7.30	0.618597	56.91	140.84	8.13	0.8300	-0.0107	311.30
92	71.53	57.86	-8.59	0.680123	62.57	146.50	6.85	0.8635	-0.0105	316.64
93	67.83	62.15	-9.83	0.741745	68.24	152.17	5.60	0.8970	-0.0105	322.56
94	63.90	66.19	-11.23	0.802974	73.87	157.80	4.21	0.9305	-0.0096	329.43
95	59.76	69.95	-12.76	0.863829	79.47	163.40	2.67	0.9640	-0.0079	338.11
BF	55.23	73.58	-15.43	0.926936	85.28	169.21	0.00	1.0000	0.0000	360.00

Tabel 6.2 Coordonate profil secțiunea 2

Pct.	X _{3D}	Y _{3D}	Z _{3D}	θ	Y _{desf}	X _{e/X_i}	Y _{e/Y_i}	X _{Pe/X_{Pi}}	Y _{Pe/Y_{Pi}}	Φ _{e/Φ_i}	
	mm	mm	mm	radiani	mm	mm	mm	[-]	[-]	grade	
	Coordonate spațiale Figura 4.32				Figura 4.32	Rel. 4.4	Rel. 4.7	Rel. 4.8 Rel. 4.9	Rel. 4.1 Rel. 4.13	Rel. 4.10 Rel. 4.12	Rel. 4.15 Rel. 4.16
BF	65.84	84.35	-11.42	0.908004	97.16	189.48	0.00	1.0000	0.0000	0.00	
1	70.64	80.37	-12.02	0.849755	90.92	183.25	-0.59	0.9682	0.0076	20.56	
2	75.30	76.02	-11.68	0.790107	84.54	176.87	-0.25	0.9349	0.0104	29.57	
3	79.70	71.39	-11.41	0.730437	78.16	170.48	0.02	0.9016	0.0136	36.56	
4	83.82	66.51	-11.20	0.670758	71.77	164.10	0.22	0.8684	0.0172	42.53	
5	87.64	61.39	-11.00	0.61107	65.38	157.71	0.42	0.8352	0.0208	47.90	
6	91.14	56.05	-10.83	0.551385	59.00	151.33	0.60	0.8020	0.0245	52.84	
7	94.33	50.51	-10.69	0.491665	52.61	144.94	0.74	0.7689	0.0284	57.47	
8	97.17	44.80	-10.54	0.431964	46.22	138.55	0.88	0.7357	0.0323	61.88	
9	99.67	38.92	-10.38	0.372231	39.83	132.16	1.04	0.7025	0.0361	66.11	
10	101.82	32.90	-10.20	0.312562	33.44	125.77	1.22	0.6693	0.0397	70.21	
11	103.60	26.77	-9.98	0.252909	27.06	119.39	1.44	0.6361	0.0432	74.20	
12	105.01	20.55	-9.71	0.193237	20.68	113.00	1.72	0.6029	0.0464	78.13	
13	106.05	14.25	-9.42	0.13357	14.29	106.62	2.00	0.5696	0.0496	82.00	
14	106.71	7.90	-9.07	0.073924	7.91	100.24	2.35	0.5363	0.0524	85.83	
15	106.99	1.53	-8.72	0.014308	1.53	93.86	2.71	0.5030	0.0551	89.65	
16	106.89	-4.84	-8.33	-0.04529	-4.85	87.48	3.09	0.4697	0.0578	93.47	
17	106.41	-11.19	-7.80	-0.10479	-11.21	81.11	3.63	0.4364	0.0596	97.31	
18	105.56	-17.50	-7.21	-0.16426	-17.58	74.75	4.22	0.4030	0.0611	101.18	
19	104.34	-23.73	-6.51	-0.22362	-23.93	68.40	4.92	0.3697	0.0621	105.11	
20	102.75	-29.87	-5.73	-0.28289	-30.27	62.06	5.70	0.3363	0.0626	109.12	
21	100.80	-35.89	-4.88	-0.34203	-36.60	55.73	6.55	0.3029	0.0628	113.22	
22	98.52	-41.76	-3.82	-0.40092	-42.90	49.43	7.61	0.2695	0.0619	117.45	
23	95.90	-47.46	-2.61	-0.45957	-49.17	43.15	8.82	0.2361	0.0602	121.85	
24	92.97	-52.97	-1.26	-0.51793	-55.42	36.91	10.16	0.2028	0.0577	126.46	
25	89.73	-58.28	0.22	-0.57601	-61.63	30.69	11.64	0.1696	0.0545	131.36	
26	86.22	-63.36	1.84	-0.63376	-67.81	24.51	13.26	0.1364	0.0506	136.64	

Tabel 6.2 Coordonate profil secțiunea 2

Pct.	X _{3D}	Y _{3D}	Z _{3D}	θ	Y _{desf}	X _{e/X_i}	Y _{e/Y_i}	X _{Pe/X_{Pi}}	Y _{Pe/Y_{Pi}}	φ _{e/φ_i}
	mm	mm	mm	radiani	mm	mm	mm	[-]	[-]	grade
	Coordonate spațiale Figura 4.32			Figura 4.32	Rel. 4.4	Rel. 4.7	Rel. 4.8 Rel. 4.9	Rel. 4.1 Rel. 4.13	Rel. 4.10 Rel. 4.12	Rel. 4.15 Rel. 4.16
27	82.49	-68.15	3.82	-0.69045	-73.88	18.45	15.24	0.1036	0.0448	142.44
28	78.54	-72.67	5.95	-0.74659	-79.89	12.44	17.37	0.0710	0.0381	149.10
29	74.41	-76.89	8.36	-0.80177	-85.79	6.54	19.79	0.0387	0.0299	157.32
30	73.95	-77.34	8.77	-0.80791	-86.45	5.88	20.19	0.0350	0.0282	158.44
31	73.43	-77.83	9.08	-0.8145	-87.15	5.18	20.50	0.0311	0.0271	159.68
32	72.91	-78.32	9.36	-0.82121	-87.87	4.46	20.78	0.0272	0.0262	161.02
33	72.38	-78.81	9.64	-0.82788	-88.58	3.74	21.07	0.0233	0.0253	162.45
34	71.87	-79.27	9.98	-0.83434	-89.27	3.05	21.40	0.0195	0.0240	163.96
35	71.40	-79.69	10.42	-0.84025	-89.91	2.42	21.84	0.0159	0.0222	165.52
36	71.03	-80.03	11.00	-0.84489	-90.40	1.92	22.43	0.0129	0.0195	166.97
37	70.77	-80.25	11.69	-0.8481	-90.75	1.58	23.12	0.0106	0.0162	168.18
38	70.45	-80.54	12.33	-0.8521	-91.17	1.15	23.76	0.0079	0.0132	169.79
39	70.07	-80.87	12.91	-0.85682	-91.68	0.65	24.34	0.0049	0.0106	171.98
40	69.73	-81.16	13.54	-0.86104	-92.13	0.20	24.97	0.0021	0.0076	174.75
41	69.56	-81.30	14.27	-0.86305	-92.35	-0.02	25.70	0.0005	0.0040	177.55
BA	69.58	-81.29	15.04	-0.86287	-92.33	0.00	26.47	0.0000	0.0000	180.00
42	69.67	-81.21	15.80	-0.8617	-92.20	0.13	27.23	0.0001	-0.0040	181.14
43	69.78	-81.12	16.56	-0.86037	-92.06	0.27	27.99	0.0003	-0.0081	181.93
44	69.90	-81.01	17.32	-0.8589	-91.90	0.42	28.74	0.0006	-0.0121	182.70
45	70.20	-80.75	17.97	-0.85514	-91.50	0.83	29.39	0.0022	-0.0157	185.34
46	70.70	-80.31	18.35	-0.84898	-90.84	1.49	29.77	0.0053	-0.0182	188.35
47	71.27	-79.81	18.47	-0.84188	-90.08	2.25	29.89	0.0092	-0.0194	190.98
48	71.84	-79.30	18.49	-0.83468	-89.31	3.02	29.92	0.0131	-0.0200	193.16
49	72.41	-78.78	18.45	-0.82748	-88.54	3.79	29.88	0.0171	-0.0204	195.04
50	72.97	-78.26	18.36	-0.82033	-87.78	4.55	29.79	0.0212	-0.0205	196.73
51	73.53	-77.74	18.25	-0.81321	-87.01	5.31	29.67	0.0252	-0.0204	198.26
52	74.08	-77.21	18.12	-0.8061	-86.25	6.07	29.54	0.0292	-0.0203	199.68
53	74.62	-76.68	17.99	-0.79899	-85.49	6.83	29.41	0.0333	-0.0202	201.01
54	75.17	-76.15	17.86	-0.79188	-84.73	7.60	29.29	0.0373	-0.0201	202.27
55	75.71	-75.61	17.74	-0.78477	-83.97	8.36	29.17	0.0413	-0.0200	203.45
56	76.24	-75.07	17.62	-0.77764	-83.21	9.12	29.05	0.0453	-0.0199	204.59
57	76.78	-74.53	17.51	-0.77052	-82.45	9.88	28.93	0.0494	-0.0199	205.68
58	77.31	-73.98	17.38	-0.76341	-81.68	10.64	28.81	0.0534	-0.0198	206.72
59	77.83	-73.43	17.25	-0.75631	-80.93	11.40	28.67	0.0574	-0.0197	207.73
60	78.35	-72.88	17.11	-0.74923	-80.17	12.16	28.53	0.0615	-0.0195	208.71
61	78.86	-72.32	16.96	-0.74215	-79.41	12.92	28.39	0.0655	-0.0193	209.65
62	79.37	-71.76	16.83	-0.73506	-78.65	13.68	28.25	0.0695	-0.0191	210.57
63	79.88	-71.19	16.70	-0.72795	-77.89	14.44	28.12	0.0735	-0.0190	211.47
64	80.38	-70.62	16.57	-0.72084	-77.13	15.20	28.00	0.0776	-0.0189	212.34
65	80.88	-70.05	16.45	-0.71373	-76.37	15.96	27.88	0.0816	-0.0188	213.19
66	81.38	-69.47	16.33	-0.70661	-75.61	16.72	27.76	0.0856	-0.0188	214.03

Tabel 6.2 Coordonate profil secțiunea 2

Pct.	X _{3D}	Y _{3D}	Z _{3D}	θ	Y _{desf}	X _{e/X_i}	Y _{e/Y_i}	X _{Pe/X_{Pi}}	Y _{Pe/Y_{Pi}}	φ _{e/φ_i}
	mm	mm	mm	radiani	mm	mm	mm	[-]	[-]	grade
	Coordonate spațiale Figura 4.32			Figura 4.32	Rel. 4.4	Rel. 4.7	Rel. 4.8 Rel. 4.9	Rel. 4.1 Rel. 4.13	Rel. 4.10 Rel. 4.12	Rel. 4.15 Rel. 4.16
67	81.87	-68.89	16.21	-0.69949	-74.85	17.48	27.63	0.0896	-0.0187	214.84
68	82.36	-68.31	16.08	-0.69239	-74.09	18.24	27.50	0.0937	-0.0186	215.64
69	82.84	-67.72	15.94	-0.68531	-73.33	19.00	27.36	0.0977	-0.0184	216.43
70	86.68	-62.73	14.86	-0.62644	-67.03	25.30	26.28	0.1311	-0.0173	222.45
71	90.23	-57.52	13.81	-0.56753	-60.73	31.60	25.24	0.1645	-0.0165	227.85
72	93.46	-52.10	12.81	-0.50855	-54.41	37.91	24.24	0.1979	-0.0159	232.82
73	96.37	-46.50	11.85	-0.44953	-48.10	44.23	23.27	0.2313	-0.0154	237.49
74	98.95	-40.73	10.92	-0.39049	-41.78	50.54	22.34	0.2646	-0.0152	241.92
75	101.18	-34.81	9.97	-0.3314	-35.46	56.87	21.40	0.2980	-0.0149	246.18
76	103.05	-28.80	8.94	-0.27249	-29.16	63.17	20.36	0.3314	-0.0141	250.30
77	104.57	-22.66	8.03	-0.21339	-22.83	69.49	19.46	0.3648	-0.0139	254.31
78	105.73	-16.44	7.18	-0.15424	-16.50	75.82	18.61	0.3982	-0.0141	258.25
79	106.51	-10.18	6.16	-0.09531	-10.20	82.13	17.58	0.4316	-0.0134	262.13
80	106.93	-3.88	5.24	-0.03625	-3.88	88.45	16.66	0.4649	-0.0132	265.98
81	106.97	2.44	4.32	0.022847	2.44	94.77	15.74	0.4983	-0.0130	269.81
82	106.64	8.76	3.47	0.081999	8.77	101.10	14.89	0.5317	-0.0132	273.64
83	105.94	15.04	2.54	0.140997	15.09	107.41	13.96	0.5651	-0.0129	277.48
84	104.87	21.27	1.69	0.200097	21.41	113.74	13.11	0.5984	-0.0131	281.35
85	103.42	27.43	0.88	0.259246	27.74	120.07	12.30	0.6318	-0.0135	285.28
86	101.62	33.50	0.00	0.318394	34.07	126.40	11.43	0.6652	-0.0135	289.29
87	99.47	39.44	-0.87	0.377519	40.39	132.72	10.55	0.6985	-0.0136	293.40
88	96.96	45.24	-1.79	0.436576	46.71	139.04	9.63	0.7319	-0.0134	297.63
89	94.13	50.88	-2.77	0.495587	53.03	145.35	8.66	0.7653	-0.0129	302.05
90	90.96	56.36	-3.69	0.554702	59.35	151.68	7.73	0.7987	-0.0127	306.69
91	87.48	61.62	-4.68	0.613645	65.66	157.99	6.74	0.8321	-0.0121	311.62
92	83.70	66.66	-5.73	0.672576	71.97	164.29	5.69	0.8655	-0.0113	316.97
93	79.64	71.46	-6.82	0.731373	78.26	170.58	4.61	0.8988	-0.0102	322.91
94	75.30	76.02	-7.89	0.790198	84.55	176.88	3.54	0.9322	-0.0092	329.81
95	70.71	80.30	-9.12	0.848798	90.82	183.15	2.31	0.9655	-0.0074	338.60
BF	65.84	84.35	-11.42	0.908004	97.16	189.48	0.00	1.0000	0.0000	360.00

Tabel 6.3 Coordonate profil secțiunea 3

Pct.	X _{3D}	Y _{3D}	Z _{3D}	θ	Y _{desf}	X _{e/X_i}	Y _{e/Y_i}	X _{Pe/X_{Pi}}	Y _{Pe/Y_{Pi}}	φ _{e/φ_i}
	mm	mm	mm	radiani	mm	mm	mm	[-]	[-]	grade
	Coordonate spațiale Figura 4.32			Figura 4.32	Rel. 4.4	Rel. 4.7	Rel. 4.8 Rel. 4.9	Rel. 4.1 Rel. 4.13	Rel. 4.10 Rel. 4.12	Rel. 4.15 Rel. 4.16
BF	75.60	95.75	-7.57	0.902432	110.10	210.71	0.00	1.0000	0.0000	0.00
1	80.76	91.44	-8.25	0.84731	103.37	203.98	-0.68	0.9686	0.0059	20.42
2	85.89	86.64	-8.10	0.789781	96.35	196.96	-0.53	0.9354	0.0079	29.44
3	90.73	81.56	-7.96	0.73225	89.33	189.95	-0.39	0.9023	0.0101	36.43

Tabel 6.3 Coordonate profil secțiunea 3

Pct.	X _{3D}	Y _{3D}	Z _{3D}	θ	Y _{desf}	X _{e/X_i}	Y _{e/Y_i}	X _{Pe/X_{Pi}}	Y _{Pe/Y_{Pi}}	φ _{e/φ_i}
	mm	mm	mm	radiani	mm	mm	mm	[-]	[-]	grade
	Coordonate spațiale Figura 4.32			Figura 4.32	Rel. 4.4	Rel. 4.7	Rel. 4.8 Rel. 4.9	Rel. 4.1 Rel. 4.13	Rel. 4.10 Rel. 4.12	Rel. 4.15 Rel. 4.16
4	95.27	76.21	-7.82	0.674719	82.32	182.93	-0.25	0.8692	0.0122	42.41
5	99.49	70.61	-7.72	0.617189	75.30	175.91	-0.15	0.8361	0.0145	47.77
6	103.39	64.77	-7.69	0.559643	68.28	168.89	-0.12	0.8030	0.0171	52.70
7	106.94	58.72	-7.72	0.502108	61.26	161.87	-0.15	0.7699	0.0200	57.33
8	110.14	52.47	-7.73	0.444577	54.24	154.85	-0.16	0.7368	0.0229	61.73
9	112.97	46.05	-7.83	0.38709	47.23	147.84	-0.26	0.7038	0.0261	65.95
10	115.44	39.48	-7.84	0.32951	40.20	140.81	-0.27	0.6707	0.0289	70.04
11	117.51	32.78	-7.90	0.272033	33.19	133.80	-0.33	0.6377	0.0320	74.02
12	119.20	25.97	-7.90	0.214482	26.17	126.78	-0.33	0.6046	0.0347	77.93
13	120.50	19.07	-7.89	0.156933	19.15	119.76	-0.32	0.5715	0.0375	81.78
14	121.40	12.11	-7.86	0.099391	12.13	112.74	-0.29	0.5384	0.0401	85.59
15	121.89	5.10	-7.79	0.041851	5.11	105.72	-0.22	0.5053	0.0426	89.39
16	121.98	-1.91	-7.68	-0.01568	-1.91	98.70	-0.11	0.4722	0.0448	93.19
17	121.67	-8.92	-7.52	-0.07321	-8.93	91.68	0.05	0.4390	0.0469	97.00
18	120.96	-15.90	-7.26	-0.13072	-15.95	84.66	0.31	0.4059	0.0484	100.85
19	119.85	-22.82	-6.90	-0.18819	-22.96	77.65	0.67	0.3727	0.0495	104.75
20	118.34	-29.66	-6.41	-0.24558	-29.96	70.65	1.16	0.3395	0.0499	108.72
21	116.45	-36.39	-5.82	-0.30292	-36.96	63.65	1.75	0.3063	0.0499	112.79
22	114.17	-43.00	-5.11	-0.36018	-43.94	56.67	2.46	0.2731	0.0493	116.99
23	111.53	-49.45	-4.34	-0.41735	-50.92	49.69	3.23	0.2399	0.0484	121.34
24	108.53	-55.73	-3.42	-0.47437	-57.87	42.74	4.15	0.2068	0.0469	125.91
25	105.19	-61.80	-2.40	-0.53123	-64.81	35.80	5.17	0.1737	0.0448	130.74
26	101.52	-67.66	-1.14	-0.58789	-71.72	28.89	6.43	0.1406	0.0416	135.96
27	97.56	-73.26	0.34	-0.64411	-78.58	22.03	7.91	0.1077	0.0373	141.69
28	93.29	-78.61	1.89	-0.70021	-85.43	15.18	9.46	0.0748	0.0327	148.25
29	92.66	-79.36	2.19	-0.70826	-86.41	14.20	9.76	0.0701	0.0317	149.30
30	92.01	-80.11	2.46	-0.71637	-87.40	13.21	10.03	0.0653	0.0309	150.39
31	91.36	-80.86	2.71	-0.72451	-88.39	12.22	10.28	0.0605	0.0301	151.52
32	90.70	-81.60	2.96	-0.73264	-89.38	11.23	10.53	0.0557	0.0292	152.69
33	90.03	-82.33	3.24	-0.74074	-90.37	10.24	10.81	0.0510	0.0284	153.90
34	89.37	-83.05	3.54	-0.74877	-91.35	9.26	11.11	0.0462	0.0273	155.16
35	88.70	-83.76	3.86	-0.75676	-92.32	8.29	11.43	0.0415	0.0262	156.48
36	88.03	-84.47	4.17	-0.76476	-93.30	7.31	11.74	0.0368	0.0251	157.88
37	87.35	-85.17	4.46	-0.77281	-94.28	6.33	12.03	0.0321	0.0241	159.37
38	86.65	-85.88	4.74	-0.78089	-95.27	5.34	12.31	0.0273	0.0232	160.98
39	85.97	-86.57	5.06	-0.78887	-96.24	4.37	12.63	0.0226	0.0221	162.71
40	85.30	-87.22	5.48	-0.79652	-97.18	3.44	13.05	0.0180	0.0205	164.57
41	84.67	-87.83	6.01	-0.80372	-98.05	2.56	13.58	0.0137	0.0183	166.57
42	84.07	-88.41	6.60	-0.81056	-98.89	1.72	14.17	0.0095	0.0159	168.81
43	83.51	-88.94	7.28	-0.81682	-99.65	0.96	14.85	0.0056	0.0130	171.39
44	83.09	-89.33	8.12	-0.82162	-100.24	0.37	15.69	0.0026	0.0093	174.21

Tabel 6.3 Coordonate profil secțiunea 3

Pct.	X _{3D}	Y _{3D}	Z _{3D}	θ	Y _{desf}	X _{e/X_i}	Y _{e/Y_i}	X _{Pe/X_{Pi}}	Y _{Pe/Y_{Pi}}	φ _{e/φ_i}
	mm	mm	mm	radiani	mm	mm	mm	[-]	[-]	grade
	Coordonate spațiale Figura 4.32			Figura 4.32	Rel. 4.4	Rel. 4.7	Rel. 4.8 Rel. 4.9	Rel. 4.1 Rel. 4.13	Rel. 4.10 Rel. 4.12	Rel. 4.15 Rel. 4.16
45	82.86	-89.55	9.09	-0.82418	-100.55	0.06	16.66	0.0007	0.0048	176.98
BA	82.81	-89.59	10.11	-0.82468	-100.61	0.00	17.68	0.0000	0.0000	180.00
46	82.94	-89.47	11.12	-0.82329	-100.44	0.17	18.69	0.0004	-0.0048	182.30
47	83.31	-89.12	11.96	-0.81909	-99.93	0.68	19.53	0.0025	-0.0090	185.71
48	84.04	-88.44	12.21	-0.81094	-98.94	1.68	19.78	0.0071	-0.0106	189.65
49	84.76	-87.75	12.43	-0.80275	-97.94	2.68	20.00	0.0117	-0.0120	192.41
50	85.49	-87.04	12.42	-0.79437	-96.91	3.70	19.99	0.0165	-0.0123	194.77
51	86.21	-86.32	12.30	-0.78603	-95.90	4.72	19.87	0.0214	-0.0122	196.81
52	86.93	-85.60	12.21	-0.77766	-94.87	5.74	19.78	0.0262	-0.0122	198.63
53	87.65	-84.87	12.13	-0.76929	-93.85	6.76	19.70	0.0311	-0.0122	200.30
54	88.35	-84.13	12.05	-0.76091	-92.83	7.78	19.62	0.0359	-0.0122	201.84
55	89.05	-83.39	11.96	-0.75255	-91.81	8.80	19.53	0.0407	-0.0122	203.29
56	89.75	-82.64	11.86	-0.74418	-90.79	9.82	19.43	0.0456	-0.0121	204.66
57	90.44	-81.89	11.76	-0.73582	-89.77	10.84	19.33	0.0504	-0.0121	205.96
58	91.12	-81.13	11.66	-0.72747	-88.75	11.86	19.23	0.0553	-0.0120	207.20
59	91.79	-80.36	11.56	-0.71911	-87.73	12.88	19.13	0.0601	-0.0119	208.39
60	92.46	-79.59	11.46	-0.71075	-86.71	13.90	19.03	0.0650	-0.0118	209.54
61	93.12	-78.82	11.36	-0.70238	-85.69	14.92	18.93	0.0698	-0.0118	210.64
62	93.78	-78.03	11.28	-0.69401	-84.67	15.94	18.85	0.0747	-0.0118	211.72
63	94.43	-77.25	11.20	-0.68564	-83.65	16.96	18.77	0.0795	-0.0118	212.76
64	95.07	-76.45	11.12	-0.67726	-82.63	17.99	18.69	0.0844	-0.0119	213.77
65	95.71	-75.65	11.04	-0.66889	-81.60	19.01	18.61	0.0892	-0.0119	214.76
66	96.34	-74.85	10.96	-0.66052	-80.58	20.03	18.53	0.0941	-0.0119	215.72
67	96.96	-74.04	10.86	-0.65215	-79.56	21.05	18.43	0.0989	-0.0119	216.66
68	97.58	-73.23	10.76	-0.6438	-78.54	22.07	18.33	0.1037	-0.0118	217.58
69	101.60	-67.54	9.99	-0.58664	-71.57	29.04	17.56	0.1369	-0.0109	223.43
70	105.28	-61.64	9.27	-0.52967	-64.62	35.99	16.84	0.1700	-0.0103	228.69
71	108.64	-55.51	8.61	-0.47237	-57.63	42.98	16.18	0.2032	-0.0099	233.58
72	111.64	-49.20	7.97	-0.41513	-50.65	49.97	15.54	0.2363	-0.0096	238.17
73	114.27	-42.73	7.33	-0.35785	-43.66	56.95	14.90	0.2695	-0.0094	242.55
74	116.53	-36.12	6.72	-0.30057	-36.67	63.94	14.29	0.3027	-0.0093	246.76
75	118.41	-29.39	6.09	-0.24329	-29.68	70.93	13.66	0.3359	-0.0091	250.84
76	119.89	-22.57	5.60	-0.1861	-22.70	77.91	13.17	0.3689	-0.0095	254.80
77	120.99	-15.66	5.14	-0.12872	-15.70	84.91	12.71	0.4021	-0.0101	258.71
78	121.69	-8.70	4.64	-0.07137	-8.71	91.90	12.21	0.4353	-0.0106	262.56
79	121.99	-1.73	4.04	-0.01415	-1.73	98.88	11.61	0.4684	-0.0105	266.38
80	121.89	5.24	3.51	0.042947	5.24	105.85	11.08	0.5015	-0.0108	270.17
81	121.39	12.19	2.99	0.100054	12.21	112.82	10.56	0.5345	-0.0110	273.96
82	120.49	19.12	2.56	0.15735	19.20	119.81	10.13	0.5676	-0.0118	277.77
83	119.20	25.98	2.19	0.21462	26.18	126.79	9.76	0.6007	-0.0128	281.62
84	117.52	32.76	1.60	0.271824	33.16	133.77	9.17	0.6338	-0.0128	285.52

Tabel 6.3 Coordonate profil secțiunea 3

Pct.	X _{3D}	Y _{3D}	Z _{3D}	θ	Y _{desf}	X _{e/X_i}	Y _{e/Y_i}	X _{Pe/X_{Pi}}	Y _{Pe/Y_{Pi}}	Φ _{e/Φ_i}
	mm	mm	mm	radiani	mm	mm	mm	[-]	[-]	grade
	Coordonate spațiale Figura 4.32			Figura 4.32	Rel. 4.4	Rel. 4.7	Rel. 4.8 Rel. 4.9	Rel. 4.1 Rel. 4.13	Rel. 4.10 Rel. 4.12	Rel. 4.15 Rel. 4.16
85	115.45	39.43	1.16	0.329109	40.15	140.76	8.73	0.6669	-0.0135	289.50
86	113.00	45.98	0.78	0.386456	47.15	147.76	8.35	0.7000	-0.0144	293.58
87	110.18	52.38	0.12	0.443739	54.14	154.75	7.69	0.7332	-0.0141	297.81
88	107.00	58.60	-0.46	0.501073	61.13	161.74	7.11	0.7664	-0.0142	302.20
89	103.47	64.64	-1.08	0.558404	68.13	168.74	6.49	0.7996	-0.0140	306.82
90	99.60	70.45	-1.79	0.615625	75.11	175.72	5.78	0.8328	-0.0134	311.73
91	95.42	76.02	-2.57	0.672724	82.07	182.69	5.00	0.8660	-0.0125	317.05
92	90.93	81.34	-3.45	0.729783	89.03	189.64	4.12	0.8991	-0.0111	322.96
93	86.15	86.38	-4.41	0.786726	95.98	196.59	3.16	0.9322	-0.0093	329.82
94	81.11	91.14	-5.48	0.843568	102.92	203.53	2.09	0.9653	-0.0070	338.54
BF	75.60	95.75	-7.57	0.902432	110.10	210.71	0.00	1.0000	0.0000	360.00

Tabel 6.4 Coordonate profil secțiunea 4

Pct.	X _{3D}	Y _{3D}	Z _{3D}	θ	Y _{desf}	X _{e/X_i}	Y _{e/Y_i}	X _{Pe/X_{Pi}}	Y _{Pe/Y_{Pi}}	Φ _{e/Φ_i}
	mm	mm	mm	radiani	mm	mm	mm	[-]	[-]	grade
	Coordonate spațiale Figura 4.32			Figura 4.32	Rel. 4.4	Rel. 4.7	Rel. 4.8 Rel. 4.9	Rel. 4.1 Rel. 4.13	Rel. 4.10 Rel. 4.12	Rel. 4.15 Rel. 4.16
BF	85.79	106.81	-3.69	0.894083	122.49	226.50	0.00	1.0000	0.0000	0.00
1	91.40	102.06	-4.38	0.84044	115.14	219.15	-0.69	0.9678	0.0045	20.69
2	96.84	96.90	-4.26	0.785715	107.64	211.66	-0.57	0.9347	0.0054	29.61
3	102.00	91.46	-4.16	0.730965	100.14	204.15	-0.47	0.9016	0.0065	36.56
4	106.85	85.74	-4.12	0.676219	92.64	196.65	-0.43	0.8686	0.0078	42.51
5	111.39	79.76	-4.17	0.621444	85.14	189.15	-0.48	0.8355	0.0095	47.85
6	115.58	73.55	-4.25	0.566699	77.64	181.65	-0.56	0.8025	0.0113	52.77
7	119.44	67.11	-4.40	0.511941	70.14	174.15	-0.71	0.7695	0.0134	57.39
8	122.93	60.48	-4.63	0.457195	62.64	166.65	-0.94	0.7365	0.0159	61.78
9	126.05	53.66	-4.84	0.402475	55.14	159.15	-1.15	0.7035	0.0183	65.99
10	128.80	46.68	-5.06	0.347708	47.64	151.65	-1.37	0.6705	0.0208	70.07
11	131.16	39.57	-5.29	0.292975	40.14	144.15	-1.60	0.6375	0.0232	74.04
12	133.13	32.33	-5.47	0.238224	32.64	136.65	-1.78	0.6044	0.0255	77.94
13	134.70	25.00	-5.67	0.183489	25.14	129.15	-1.98	0.5714	0.0279	81.79
14	135.87	17.59	-5.83	0.128734	17.64	121.65	-2.14	0.5384	0.0301	85.59
15	136.63	10.12	-5.96	0.073958	10.13	114.14	-2.27	0.5054	0.0321	89.38
16	136.97	2.64	-6.12	0.019235	2.64	106.65	-2.43	0.4724	0.0343	93.17
17	136.91	-4.87	-6.25	-0.03553	-4.87	99.14	-2.56	0.4393	0.0363	96.97
18	136.44	-12.35	-6.28	-0.09029	-12.37	91.64	-2.59	0.4063	0.0379	100.80
19	135.56	-19.80	-6.29	-0.14503	-19.87	84.14	-2.60	0.3732	0.0394	104.68
20	134.27	-27.19	-6.24	-0.1998	-27.37	76.64	-2.55	0.3402	0.0407	108.64
21	132.58	-34.50	-6.04	-0.25457	-34.88	69.14	-2.35	0.3071	0.0413	112.70
22	130.50	-41.69	-5.76	-0.30924	-42.37	61.65	-2.07	0.2740	0.0415	116.87

Tabel 6.4 Coordonate profil secțiunea 4

Pct.	X _{3D}	Y _{3D}	Z _{3D}	θ	Y _{desf}	X _{e/X_i}	Y _{e/Y_i}	X _{Pe/X_{Pi}}	Y _{Pe/Y_{Pi}}	φ _{e/φ_i}
	mm	mm	mm	radiani	mm	mm	mm	[-]	[-]	grade
	Coordonate spațiale Figura 4.32			Figura 4.32	Rel. 4.4	Rel. 4.7	Rel. 4.8 Rel. 4.9	Rel. 4.1 Rel. 4.13	Rel. 4.10 Rel. 4.12	Rel. 4.15 Rel. 4.16
23	128.02	-48.78	-5.33	-0.36406	-49.88	54.14	-1.64	0.2408	0.0411	121.22
24	125.17	-55.69	-4.81	-0.4186	-57.35	46.66	-1.12	0.2078	0.0403	125.76
25	121.95	-62.42	-4.12	-0.47311	-64.82	39.20	-0.43	0.1748	0.0387	130.57
26	118.37	-68.97	-3.30	-0.52754	-72.27	31.74	0.39	0.1418	0.0366	135.76
27	114.46	-75.29	-2.33	-0.58184	-79.71	24.30	1.36	0.1088	0.0338	141.48
28	113.66	-76.49	-2.12	-0.59236	-81.15	22.86	1.57	0.1024	0.0331	142.67
29	112.85	-77.68	-1.90	-0.60286	-82.59	21.42	1.79	0.0960	0.0324	143.90
30	112.03	-78.86	-1.67	-0.61334	-84.03	19.98	2.02	0.0896	0.0317	145.16
31	111.20	-80.03	-1.42	-0.62381	-85.46	18.55	2.27	0.0833	0.0309	146.45
32	110.35	-81.19	-1.17	-0.63428	-86.90	17.12	2.52	0.0769	0.0301	147.80
33	109.50	-82.34	-0.92	-0.64474	-88.33	15.68	2.77	0.0705	0.0292	149.19
34	108.63	-83.48	-0.66	-0.65519	-89.76	14.25	3.03	0.0642	0.0284	150.65
35	107.75	-84.61	-0.39	-0.66563	-91.19	12.82	3.30	0.0578	0.0275	152.17
36	106.87	-85.72	-0.11	-0.67606	-92.62	11.39	3.58	0.0515	0.0265	153.77
37	105.97	-86.83	0.18	-0.68647	-94.05	9.97	3.87	0.0451	0.0255	155.47
38	105.06	-87.93	0.48	-0.69687	-95.47	8.54	4.17	0.0388	0.0245	157.28
39	104.14	-89.01	0.79	-0.70725	-96.89	7.12	4.48	0.0325	0.0234	159.24
40	103.21	-90.09	1.12	-0.71759	-98.31	5.70	4.81	0.0262	0.0222	161.38
41	102.28	-91.15	1.47	-0.72791	-99.72	4.29	5.16	0.0199	0.0210	163.79
42	101.34	-92.19	1.84	-0.73818	-101.13	2.88	5.53	0.0136	0.0196	166.61
43	100.48	-93.13	2.53	-0.74743	-102.40	1.61	6.22	0.0079	0.0168	169.81
44	99.86	-93.79	3.66	-0.7541	-103.31	0.70	7.35	0.0036	0.0120	173.09
45	99.46	-94.22	4.99	-0.75835	-103.89	0.12	8.68	0.0008	0.0063	176.75
BA	99.38	-94.30	6.42	-0.75922	-104.01	0.00	10.11	0.0000	0.0000	180.00
46	100.19	-93.44	7.15	-0.75055	-102.82	1.19	10.84	0.0051	-0.0035	188.18
47	101.17	-92.38	7.35	-0.74005	-101.39	2.63	11.04	0.0114	-0.0046	192.25
48	102.14	-91.30	7.37	-0.72945	-99.93	4.08	11.06	0.0178	-0.0050	195.33
49	103.11	-90.21	7.30	-0.71882	-98.48	5.53	10.99	0.0242	-0.0050	197.90
50	104.06	-89.11	7.23	-0.70819	-97.02	6.99	10.92	0.0306	-0.0050	200.16
51	105.00	-88.00	7.21	-0.69757	-95.57	8.45	10.90	0.0371	-0.0051	202.20
52	105.93	-86.88	7.17	-0.68695	-94.11	9.90	10.86	0.0435	-0.0053	204.07
53	106.84	-85.75	7.11	-0.67634	-92.66	11.35	10.80	0.0499	-0.0053	205.81
54	107.75	-84.62	7.04	-0.66573	-91.20	12.81	10.73	0.0563	-0.0053	207.45
55	108.64	-83.47	6.98	-0.65511	-89.75	14.26	10.67	0.0627	-0.0053	209.01
56	109.52	-82.31	6.93	-0.64449	-88.30	15.72	10.62	0.0692	-0.0054	210.49
57	110.39	-81.14	6.89	-0.63388	-86.84	17.17	10.58	0.0756	-0.0054	211.91
58	111.24	-79.97	6.83	-0.62326	-85.39	18.63	10.52	0.0820	-0.0055	213.28
59	112.08	-78.78	6.75	-0.61265	-83.93	20.08	10.44	0.0884	-0.0054	214.59
60	112.91	-77.59	6.65	-0.60206	-82.48	21.53	10.34	0.0948	-0.0052	215.87
61	113.73	-76.39	6.53	-0.59147	-81.03	22.98	10.22	0.1012	-0.0050	217.11
62	114.53	-75.18	6.42	-0.58088	-79.58	24.43	10.11	0.1077	-0.0048	218.31

Tabel 6.4 Coordonate profil secțiunea 4

Pct.	X _{3D}	Y _{3D}	Z _{3D}	θ	Y _{desf}	X _{e/X_i}	Y _{e/Y_i}	X _{Pe/X_{Pi}}	Y _{Pe/Y_{Pi}}	Φ _{e/Φ_i}
	mm	mm	mm	radiani	mm	mm	mm	[-]	[-]	grade
	Coordonate spațiale Figura 4.32			Figura 4.32	Rel. 4.4	Rel. 4.7	Rel. 4.8 Rel. 4.9	Rel. 4.1 Rel. 4.13	Rel. 4.10 Rel. 4.12	Rel. 4.15 Rel. 4.16
63	115.32	-73.96	6.33	-0.57027	-78.13	25.89	10.02	0.1141	-0.0047	219.48
64	116.10	-72.73	6.27	-0.55966	-76.67	27.34	9.96	0.1205	-0.0047	220.62
65	116.86	-71.50	6.23	-0.54904	-75.22	28.79	9.92	0.1269	-0.0048	221.74
66	117.62	-70.25	6.18	-0.53842	-73.76	30.25	9.87	0.1333	-0.0049	222.83
67	118.36	-69.00	6.11	-0.52781	-72.31	31.70	9.80	0.1397	-0.0049	223.90
68	121.94	-62.44	5.75	-0.47325	-64.84	39.18	9.44	0.1728	-0.0048	229.12
69	125.17	-55.70	5.29	-0.41866	-57.36	46.66	8.98	0.2058	-0.0042	233.96
70	128.03	-48.77	4.92	-0.36396	-49.86	54.15	8.61	0.2389	-0.0041	238.52
71	130.50	-41.70	4.55	-0.30925	-42.37	61.64	8.24	0.2720	-0.0039	242.87
72	132.59	-34.50	4.26	-0.25453	-34.87	69.14	7.95	0.3051	-0.0041	247.06
73	134.27	-27.19	3.99	-0.1998	-27.37	76.64	7.68	0.3382	-0.0044	251.12
74	135.56	-19.81	3.83	-0.14509	-19.88	84.14	7.52	0.3712	-0.0051	255.08
75	136.44	-12.36	3.64	-0.09035	-12.38	91.64	7.33	0.4043	-0.0058	258.97
76	136.91	-4.87	3.52	-0.03559	-4.88	99.14	7.21	0.4374	-0.0067	262.81
77	136.97	2.63	3.42	0.019163	2.63	106.64	7.11	0.4705	-0.0077	266.61
78	136.63	10.12	3.32	0.073915	10.13	114.14	7.01	0.5035	-0.0088	270.40
79	135.87	17.58	3.19	0.128669	17.63	121.64	6.88	0.5366	-0.0097	274.20
80	134.70	24.99	3.13	0.183419	25.13	129.14	6.82	0.5697	-0.0109	278.01
81	133.13	32.32	2.95	0.238192	32.63	136.64	6.64	0.6028	-0.0116	281.86
82	131.17	39.56	2.80	0.2929	40.13	144.14	6.49	0.6358	-0.0124	285.76
83	128.80	46.67	2.65	0.347651	47.63	151.64	6.34	0.6689	-0.0132	289.74
84	126.06	53.65	2.40	0.402386	55.13	159.14	6.09	0.7020	-0.0136	293.83
85	122.93	60.47	2.15	0.457123	62.63	166.64	5.84	0.7351	-0.0140	298.04
86	119.44	67.10	1.80	0.511835	70.12	174.13	5.49	0.7682	-0.0139	302.44
87	115.60	73.52	1.39	0.566493	77.61	181.62	5.08	0.8013	-0.0136	307.05
88	111.41	79.73	1.00	0.621172	85.10	189.11	4.69	0.8343	-0.0133	311.96
89	106.89	85.70	0.51	0.67582	92.59	196.60	4.20	0.8674	-0.0126	317.29
90	102.05	91.40	-0.10	0.730383	100.06	204.07	3.59	0.9005	-0.0114	323.22
91	96.93	96.82	-0.84	0.784848	107.52	211.54	2.85	0.9335	-0.0096	330.11
92	91.53	101.94	-1.73	0.839158	114.96	218.98	1.96	0.9665	-0.0071	338.89
BF	85.79	106.81	-3.69	0.894083	122.49	226.50	0.00	1.0000	0.0000	360.00

Tabel 6.5 Coordonate profil secțiunea 5

Pct.	X _{3D}	Y _{3D}	Z _{3D}	θ	Y _{desf}	X _{e/X_i}	Y _{e/Y_i}	X _{Pe/X_{Pi}}	Y _{Pe/Y_{Pi}}	Φ _{e/Φ_i}
	mm	mm	mm	radiani	mm	mm	mm	[-]	[-]	grade
	Coordonate spațiale Figura 4.32			Figura 4.32	Rel. 4.4	Rel. 4.7	Rel. 4.8 Rel. 4.9	Rel. 4.1 Rel. 4.13	Rel. 4.10 Rel. 4.12	Rel. 4.15 Rel. 4.16
BF	95.95	117.88	-0.02	0.887548	134.91	238.69	0.00	1.0000	0.0000	0.00
1	101.84	112.84	-0.79	0.836583	127.16	230.95	-0.77	0.9676	0.0035	20.75
2	107.55	107.41	-0.62	0.784714	119.28	223.06	-0.60	0.9345	0.0030	29.65

Tabel 6.5 Coordonate profil secțiunea 5

Pct.	X _{3D}	Y _{3D}	Z _{3D}	θ	Y _{desf}	X _{e/X_i}	Y _{e/Y_i}	X _{Pe/X_{Pi}}	Y _{Pe/Y_{Pi}}	φ _{e/φ_i}
	mm	mm	mm	radiani	mm	mm	mm	[-]	[-]	grade
	Coordonate spațiale Figura 4.32			Figura 4.32	Rel. 4.4	Rel. 4.7	Rel. 4.8 Rel. 4.9	Rel. 4.1 Rel. 4.13	Rel. 4.10 Rel. 4.12	Rel. 4.15 Rel. 4.16
3	112.98	101.68	-0.55	0.732832	111.39	215.18	-0.53	0.9015	0.0030	36.58
4	118.10	95.69	-0.58	0.680964	103.51	207.29	-0.56	0.8685	0.0034	42.53
5	122.90	89.44	-0.76	0.629089	95.62	199.41	-0.74	0.8354	0.0044	47.86
6	127.37	82.95	-1.00	0.577249	87.74	191.53	-0.98	0.8024	0.0056	52.78
7	131.50	76.24	-1.30	0.525395	79.86	183.65	-1.28	0.7694	0.0072	57.39
8	135.27	69.32	-1.65	0.473565	71.98	175.77	-1.63	0.7364	0.0089	61.78
9	138.68	62.22	-2.01	0.421727	64.10	167.89	-1.99	0.7034	0.0106	65.99
10	141.72	54.95	-2.35	0.369902	56.23	160.01	-2.33	0.6705	0.0123	70.07
11	144.38	47.53	-2.69	0.318064	48.35	152.13	-2.67	0.6375	0.0140	74.04
12	146.65	39.99	-3.03	0.266227	40.47	144.25	-3.01	0.6045	0.0157	77.94
13	148.52	32.34	-3.36	0.214386	32.59	136.37	-3.34	0.5715	0.0174	81.78
14	150.00	24.60	-3.69	0.16254	24.71	128.49	-3.67	0.5385	0.0190	85.59
15	151.07	16.79	-4.04	0.110703	16.83	120.61	-4.02	0.5055	0.0207	89.37
16	151.74	8.94	-4.39	0.058872	8.95	112.74	-4.37	0.4725	0.0224	93.16
17	152.00	1.07	-4.69	0.007018	1.07	104.85	-4.67	0.4395	0.0239	96.95
18	151.85	-6.81	-4.99	-0.04484	-6.82	96.97	-4.97	0.4065	0.0255	100.78
19	151.29	-14.68	-5.22	-0.09671	-14.70	89.09	-5.20	0.3734	0.0267	104.66
20	150.33	-22.50	-5.39	-0.14858	-22.58	81.20	-5.37	0.3404	0.0277	108.61
21	148.96	-30.27	-5.53	-0.20046	-30.47	73.32	-5.51	0.3074	0.0285	112.66
22	147.19	-37.95	-5.55	-0.25235	-38.36	65.43	-5.53	0.2743	0.0288	116.83
23	145.02	-45.53	-5.53	-0.30423	-46.24	57.54	-5.51	0.2413	0.0290	121.16
24	142.46	-52.99	-5.40	-0.35611	-54.13	49.66	-5.38	0.2083	0.0287	125.69
25	139.53	-60.30	-5.16	-0.40796	-62.01	41.78	-5.14	0.1752	0.0279	130.51
26	136.21	-67.45	-4.77	-0.4598	-69.89	33.90	-4.75	0.1422	0.0266	135.69
27	132.54	-74.41	-4.25	-0.51158	-77.76	26.03	-4.23	0.1092	0.0247	141.40
28	128.52	-81.16	-3.57	-0.56325	-85.61	18.17	-3.55	0.0763	0.0221	147.93
29	128.01	-81.96	-3.45	-0.56952	-86.57	17.22	-3.43	0.0723	0.0216	148.80
30	127.49	-82.76	-3.35	-0.57579	-87.52	16.27	-3.33	0.0683	0.0212	149.70
31	126.97	-83.56	-3.26	-0.58207	-88.48	15.31	-3.24	0.0643	0.0209	150.62
32	126.44	-84.36	-3.17	-0.58836	-89.43	14.36	-3.15	0.0603	0.0205	151.57
33	125.91	-85.15	-3.08	-0.59464	-90.38	13.40	-3.06	0.0563	0.0202	152.55
34	125.37	-85.94	-2.98	-0.60091	-91.34	12.45	-2.96	0.0523	0.0198	153.56
35	124.83	-86.72	-2.87	-0.60718	-92.29	11.50	-2.85	0.0483	0.0194	154.61
36	124.29	-87.50	-2.74	-0.61344	-93.24	10.54	-2.72	0.0443	0.0189	155.69
37	123.74	-88.28	-2.60	-0.61968	-94.19	9.60	-2.58	0.0403	0.0183	156.83
38	123.19	-89.05	-2.45	-0.62591	-95.14	8.65	-2.43	0.0364	0.0177	158.01
39	122.63	-89.81	-2.29	-0.63214	-96.08	7.70	-2.27	0.0324	0.0171	159.26
40	122.07	-90.58	-2.15	-0.63838	-97.03	6.75	-2.13	0.0284	0.0165	160.59
41	121.50	-91.34	-2.03	-0.64464	-97.98	5.80	-2.01	0.0244	0.0160	162.01
42	120.92	-92.10	-1.92	-0.65091	-98.94	4.85	-1.90	0.0204	0.0156	163.56
43	120.34	-92.85	-1.78	-0.65715	-99.89	3.90	-1.76	0.0165	0.0150	165.26

Tabel 6.5 Coordonate profil secțiunea 5

Pct.	X _{3D}	Y _{3D}	Z _{3D}	θ	Y _{desf}	X _{e/X_i}	Y _{e/Y_i}	X _{Pe/X_{Pi}}	Y _{Pe/Y_{Pi}}	φ _{e/φ_i}
	mm	mm	mm	radiani	mm	mm	mm	[-]	[-]	grade
	Coordonate spațiale Figura 4.32			Figura 4.32	Rel. 4.4	Rel. 4.7	Rel. 4.8 Rel. 4.9	Rel. 4.1 Rel. 4.13	Rel. 4.10 Rel. 4.12	Rel. 4.15 Rel. 4.16
44	119.77	-93.58	-1.54	-0.66326	-100.82	2.97	-1.52	0.0126	0.0141	167.13
45	119.23	-94.28	-1.16	-0.66905	-101.70	2.09	-1.14	0.0089	0.0125	169.20
46	118.74	-94.90	-0.63	-0.67428	-102.49	1.30	-0.61	0.0055	0.0103	171.48
47	118.32	-95.42	0.06	-0.67864	-103.15	0.64	0.08	0.0027	0.0074	174.02
48	118.04	-95.76	0.91	-0.68159	-103.60	0.19	0.93	0.0008	0.0039	176.74
BA	117.92	-95.91	1.84	-0.68281	-103.79	0.00	1.86	0.0000	0.0000	180.00
49	117.98	-95.84	2.80	-0.68225	-103.70	0.09	2.82	0.0003	-0.0040	182.08
50	118.38	-95.34	3.44	-0.67801	-103.06	0.73	3.46	0.0030	-0.0067	186.28
51	118.97	-94.61	3.63	-0.67185	-102.12	1.67	3.65	0.0069	-0.0075	189.55
52	119.56	-93.86	3.69	-0.66554	-101.16	2.63	3.71	0.0109	-0.0078	192.01
53	120.15	-93.10	3.71	-0.65923	-100.20	3.58	3.73	0.0150	-0.0079	194.05
54	120.73	-92.34	3.71	-0.65292	-99.24	4.54	3.73	0.0190	-0.0080	195.83
55	121.32	-91.58	3.70	-0.64662	-98.29	5.50	3.72	0.0230	-0.0080	197.44
56	121.89	-90.81	3.68	-0.64031	-97.33	6.46	3.70	0.0270	-0.0079	198.92
57	122.46	-90.04	3.66	-0.634	-96.37	7.42	3.68	0.0310	-0.0079	200.29
58	123.03	-89.27	3.64	-0.62769	-95.41	8.38	3.66	0.0350	-0.0078	201.58
59	123.59	-88.49	3.61	-0.62138	-94.45	9.34	3.63	0.0391	-0.0077	202.80
60	124.14	-87.71	3.59	-0.61507	-93.49	10.30	3.61	0.0431	-0.0076	203.96
61	124.69	-86.92	3.56	-0.60876	-92.53	11.26	3.58	0.0471	-0.0076	205.07
62	125.24	-86.13	3.53	-0.60246	-91.57	12.21	3.55	0.0511	-0.0075	206.13
63	125.78	-85.34	3.50	-0.59615	-90.61	13.17	3.52	0.0551	-0.0074	207.16
64	126.32	-84.55	3.47	-0.58984	-89.66	14.13	3.49	0.0591	-0.0073	208.15
65	126.85	-83.75	3.45	-0.58353	-88.70	15.09	3.47	0.0632	-0.0072	209.11
66	127.37	-82.95	3.42	-0.57722	-87.74	16.05	3.44	0.0672	-0.0071	210.04
67	127.89	-82.14	3.40	-0.57092	-86.78	17.01	3.42	0.0712	-0.0071	210.95
68	128.41	-81.33	3.37	-0.56461	-85.82	17.97	3.39	0.0752	-0.0070	211.84
69	132.45	-74.57	3.15	-0.51277	-77.94	25.85	3.17	0.1082	-0.0063	218.42
70	136.14	-67.60	3.00	-0.46089	-70.05	33.73	3.02	0.1413	-0.0060	224.16
71	139.46	-60.45	2.82	-0.40902	-62.17	41.62	2.84	0.1743	-0.0055	229.35
72	142.41	-53.14	2.74	-0.35713	-54.28	49.50	2.76	0.2073	-0.0054	234.18
73	144.97	-45.68	2.68	-0.30525	-46.40	57.39	2.70	0.2404	-0.0054	238.72
74	147.15	-38.10	2.62	-0.25337	-38.51	65.28	2.64	0.2734	-0.0054	243.05
75	148.93	-30.42	2.66	-0.20148	-30.63	73.16	2.68	0.3065	-0.0058	247.23
76	150.30	-22.65	2.70	-0.14957	-22.74	81.05	2.72	0.3395	-0.0063	251.28
77	151.27	-14.83	2.74	-0.09771	-14.85	88.94	2.76	0.3725	-0.0067	255.23
78	151.84	-6.97	2.81	-0.04584	-6.97	96.82	2.83	0.4056	-0.0072	259.11
79	152.00	0.92	2.99	0.00603	0.92	104.70	3.01	0.4386	-0.0082	262.94
80	151.75	8.80	3.15	0.057907	8.80	112.59	3.17	0.4716	-0.0092	266.75
81	151.08	16.66	3.32	0.109793	16.69	120.48	3.34	0.5046	-0.0101	270.53
82	150.02	24.47	3.47	0.16168	24.58	128.36	3.49	0.5377	-0.0110	274.32
83	148.55	32.21	3.57	0.213553	32.46	136.25	3.59	0.5707	-0.0117	278.13

Tabel 6.5 Coordonate profil secțiunea 5

Pct.	X _{3D}	Y _{3D}	Z _{3D}	θ	Y _{desf}	X _{e/X_i}	Y _{e/Y_i}	X _{Pe/X_{Pi}}	Y _{Pe/Y_{Pi}}	φ _{e/φ_i}
	mm	mm	mm	radiani	mm	mm	mm	[-]	[-]	grade
	Coordonate spațiale Figura 4.32			Figura 4.32	Rel. 4.4	Rel. 4.7	Rel. 4.8 Rel. 4.9	Rel. 4.1 Rel. 4.13	Rel. 4.10 Rel. 4.12	Rel. 4.15 Rel. 4.16
84	146.68	39.87	3.65	0.265441	40.35	144.13	3.67	0.6037	-0.0123	281.98
85	144.41	47.43	3.78	0.31732	48.23	152.02	3.80	0.6368	-0.0131	285.88
86	141.76	54.85	3.90	0.369199	56.12	159.91	3.92	0.6698	-0.0139	289.85
87	138.72	62.13	4.02	0.42107	64.00	167.79	4.04	0.7028	-0.0146	293.93
88	135.31	69.24	4.03	0.47297	71.89	175.68	4.05	0.7359	-0.0149	298.15
89	131.54	76.16	3.95	0.524852	79.78	183.57	3.97	0.7689	-0.0148	302.54
90	127.42	82.88	3.88	0.576697	87.66	191.45	3.90	0.8019	-0.0148	307.15
91	122.95	89.38	3.72	0.628605	95.55	199.34	3.74	0.8350	-0.0144	312.07
92	118.15	95.63	3.50	0.680426	103.42	207.21	3.52	0.8680	-0.0137	317.39
93	113.04	101.61	3.06	0.732215	111.30	215.08	3.08	0.9010	-0.0122	323.32
94	107.63	107.33	2.54	0.783972	119.16	222.95	2.56	0.9340	-0.0102	330.22
95	101.96	112.73	1.72	0.835524	127.00	230.79	1.74	0.9668	-0.0070	339.01
BF	95.95	117.88	-0.02	0.887548	134.91	238.69	0.00	1.0000	0.0000	360.00

Tabel 6.6 Coordonate profil secțiunea 6

Pct.	X _{3D}	Y _{3D}	Z _{3D}	θ	Y _{desf}	X _{e/X_i}	Y _{e/Y_i}	X _{Pe/X_{Pi}}	Y _{Pe/Y_{Pi}}	φ _{e/φ_i}
	mm	mm	mm	radiani	mm	mm	mm	[-]	[-]	grade
	Coordonate spațiale Figura 4.32			Figura 4.32	Rel. 4.4	Rel. 4.7	Rel. 4.8 Rel. 4.9	Rel. 4.1 Rel. 4.13	Rel. 4.10 Rel. 4.12	Rel. 4.15 Rel. 4.16
BF	106.94	128.27	2.61	0.87582	146.261959	248.66	0.00	1.0000	0.0000	0.00
1	112.97	122.99	1.95	0.827856	138.25	240.65	-0.67	0.9678	0.0022	20.69
2	118.86	117.30	2.32	0.778797	130.06	232.45	-0.30	0.9348	0.0002	29.58
3	124.48	111.33	2.55	0.729714	121.86	224.26	-0.07	0.9019	-0.0013	36.51
4	129.79	105.09	2.58	0.680616	113.66	216.06	-0.04	0.8689	-0.0019	42.45
5	134.79	98.59	2.32	0.631521	105.46	207.86	-0.29	0.8359	-0.0014	47.79
6	139.46	91.86	1.95	0.582449	97.27	199.66	-0.66	0.8030	-0.0005	52.70
7	143.80	84.92	1.48	0.53342	89.08	191.48	-1.13	0.7700	0.0009	57.31
8	147.79	77.77	1.00	0.484427	80.90	183.29	-1.61	0.7371	0.0023	61.69
9	151.42	70.43	0.57	0.43538	72.71	175.10	-2.05	0.7041	0.0035	65.90
10	154.69	62.93	0.03	0.386374	64.52	166.92	-2.59	0.6712	0.0052	69.98
11	157.59	55.27	-0.45	0.337326	56.33	158.73	-3.06	0.6382	0.0066	73.95
12	160.11	47.48	-0.94	0.288295	48.15	150.54	-3.56	0.6053	0.0080	77.84
13	162.24	39.58	-1.45	0.239264	39.96	142.35	-4.07	0.5723	0.0096	81.68
14	163.99	31.58	-1.96	0.190241	31.77	134.17	-4.57	0.5394	0.0111	85.48
15	165.34	23.50	-2.50	0.141164	23.57	125.97	-5.11	0.5064	0.0127	89.27
16	166.29	15.37	-2.93	0.092189	15.40	117.79	-5.55	0.4735	0.0139	93.04
17	166.84	7.20	-3.39	0.043108	7.20	109.59	-6.00	0.4405	0.0153	96.83
18	167.00	-0.99	-3.80	-0.00593	-0.99	101.40	-6.42	0.4075	0.0164	100.66
19	166.75	-9.18	-4.22	-0.05498	-9.18	93.21	-6.84	0.3746	0.0176	104.53
20	166.10	-17.35	-4.57	-0.10406	-17.38	85.02	-7.19	0.3416	0.0185	108.47

Tabel 6.6 Coordonate profil secțiunea 6

Pct.	X _{3D}	Y _{3D}	Z _{3D}	θ	Y _{desf}	X _{e/X_i}	Y _{e/Y_i}	X _{Pe/X_{Pi}}	Y _{Pe/Y_{Pi}}	φ _{e/φ_i}
	mm	mm	mm	radiani	mm	mm	mm	[-]	[-]	grade
	Coordonate spațiale Figura 4.32			Figura 4.32	Rel. 4.4	Rel. 4.7	Rel. 4.8 Rel. 4.9	Rel. 4.1 Rel. 4.13	Rel. 4.10 Rel. 4.12	Rel. 4.15 Rel. 4.16
21	165.05	-25.47	-4.93	-0.15313	-25.57	76.82	-7.54	0.3086	0.0193	112.50
22	163.60	-33.54	-5.18	-0.20222	-33.77	68.62	-7.79	0.2757	0.0198	116.66
23	161.75	-41.53	-5.35	-0.25134	-41.97	60.42	-7.97	0.2427	0.0200	120.97
24	159.52	-49.42	-5.43	-0.30045	-50.17	52.22	-8.04	0.2097	0.0198	125.49
25	156.90	-57.20	-5.46	-0.34959	-58.38	44.01	-8.08	0.1767	0.0194	130.29
26	153.90	-64.83	-5.39	-0.39871	-66.58	35.81	-8.01	0.1437	0.0186	135.44
27	150.53	-72.31	-5.23	-0.44782	-74.79	27.61	-7.85	0.1108	0.0174	141.12
28	146.80	-79.61	-5.00	-0.49693	-82.99	19.41	-7.62	0.0778	0.0160	147.61
29	146.32	-80.49	-4.96	-0.50291	-83.99	18.41	-7.57	0.0738	0.0157	148.48
30	145.84	-81.36	-4.91	-0.50889	-84.98	17.41	-7.53	0.0698	0.0155	149.37
31	145.35	-82.23	-4.87	-0.51487	-85.98	16.41	-7.49	0.0658	0.0153	150.28
32	144.85	-83.10	-4.83	-0.52086	-86.98	15.41	-7.45	0.0617	0.0151	151.22
33	144.35	-83.97	-4.80	-0.52684	-87.98	14.41	-7.41	0.0577	0.0148	152.20
34	143.85	-84.83	-4.76	-0.53282	-88.98	13.41	-7.38	0.0537	0.0146	153.20
35	143.34	-85.69	-4.72	-0.53881	-89.98	12.41	-7.34	0.0497	0.0144	154.24
36	142.82	-86.55	-4.69	-0.54479	-90.98	11.42	-7.30	0.0457	0.0142	155.32
37	142.30	-87.40	-4.65	-0.55077	-91.98	10.42	-7.26	0.0417	0.0140	156.44
38	141.78	-88.25	-4.60	-0.55675	-92.98	9.42	-7.22	0.0377	0.0137	157.62
39	141.25	-89.09	-4.55	-0.56273	-93.98	8.42	-7.17	0.0336	0.0135	158.86
40	140.71	-89.94	-4.49	-0.56871	-94.97	7.42	-7.11	0.0296	0.0132	160.17
41	140.17	-90.78	-4.42	-0.57468	-95.97	6.42	-7.04	0.0256	0.0128	161.58
42	139.63	-91.61	-4.34	-0.58065	-96.97	5.43	-6.95	0.0216	0.0124	163.09
43	139.08	-92.44	-4.24	-0.5866	-97.96	4.43	-6.85	0.0176	0.0119	164.74
44	138.53	-93.27	-4.12	-0.59255	-98.96	3.44	-6.73	0.0136	0.0114	166.58
45	137.97	-94.09	-3.98	-0.59848	-99.95	2.45	-6.59	0.0097	0.0108	168.71
46	137.43	-94.88	-3.71	-0.60423	-100.91	1.49	-6.32	0.0058	0.0096	171.24
47	136.96	-95.55	-3.15	-0.60916	-101.73	0.67	-5.77	0.0026	0.0074	174.20
48	136.65	-96.00	-2.32	-0.61238	-102.27	0.13	-4.93	0.0004	0.0040	177.58
49	136.58	-96.10	-1.34	-0.61314	-102.39	0.00	-3.95	0.0000	0.0000	180.00
50	136.76	-95.84	-0.40	-0.61129	-102.08	0.31	-3.01	0.0013	-0.0038	184.15
BA	137.24	-95.15	0.08	-0.60623	-101.24	1.15	-2.54	0.0047	-0.0056	187.89
51	137.81	-94.33	0.08	-0.60026	-100.24	2.15	-2.53	0.0087	-0.0056	190.73
52	138.37	-93.50	0.08	-0.59427	-99.24	3.15	-2.53	0.0128	-0.0055	192.97
53	138.93	-92.67	0.09	-0.58828	-98.24	4.15	-2.53	0.0168	-0.0055	194.89
54	139.48	-91.84	0.10	-0.58229	-97.24	5.15	-2.52	0.0208	-0.0054	196.59
55	140.03	-91.00	0.11	-0.5763	-96.24	6.15	-2.51	0.0248	-0.0054	198.13
56	140.57	-90.16	0.12	-0.57032	-95.24	7.15	-2.50	0.0288	-0.0054	199.56
57	141.11	-89.32	0.12	-0.56433	-94.24	8.15	-2.50	0.0329	-0.0053	200.89
58	141.64	-88.47	0.12	-0.55834	-93.24	9.15	-2.50	0.0369	-0.0053	202.15
59	142.17	-87.62	0.12	-0.55236	-92.24	10.15	-2.50	0.0409	-0.0052	203.34
60	142.69	-86.77	0.12	-0.54637	-91.24	11.15	-2.49	0.0449	-0.0051	204.47

Tabel 6.6 Coordonate profil secțiunea 6

Pct.	X _{3D}	Y _{3D}	Z _{3D}	θ	Y _{desf}	X _{e/X_i}	Y _{e/Y_i}	X _{Pe/X_{Pi}}	Y _{Pe/Y_{Pi}}	φ _{e/φ_i}
	mm	mm	mm	radiani	mm	mm	mm	[-]	[-]	grade
	Coordonate spațiale Figura 4.32			Figura 4.32	Rel. 4.4	Rel. 4.7	Rel. 4.8 Rel. 4.9	Rel. 4.1 Rel. 4.13	Rel. 4.10 Rel. 4.12	Rel. 4.15 Rel. 4.16
61	143.20	-85.92	0.12	-0.54038	-90.24	12.15	-2.49	0.0489	-0.0051	205.56
62	143.72	-85.06	0.13	-0.53439	-89.24	13.15	-2.48	0.0530	-0.0051	206.61
63	144.22	-84.19	0.14	-0.52841	-88.24	14.15	-2.47	0.0570	-0.0050	207.62
64	144.72	-83.33	0.15	-0.52242	-87.24	15.15	-2.46	0.0610	-0.0050	208.60
65	145.22	-82.46	0.16	-0.51643	-86.24	16.15	-2.45	0.0650	-0.0050	209.55
66	145.71	-81.59	0.17	-0.51045	-85.24	17.15	-2.44	0.0691	-0.0050	210.47
67	146.20	-80.72	0.17	-0.50446	-84.24	18.15	-2.44	0.0731	-0.0049	211.37
68	146.68	-79.84	0.17	-0.49847	-83.24	19.15	-2.44	0.0771	-0.0048	212.24
69	150.42	-72.54	0.22	-0.44937	-75.04	27.35	-2.39	0.1101	-0.0045	218.75
70	153.80	-65.06	0.32	-0.4002	-66.83	35.56	-2.30	0.1431	-0.0044	224.45
71	156.81	-57.44	0.43	-0.35112	-58.64	43.76	-2.19	0.1760	-0.0043	229.62
72	159.44	-49.67	0.57	-0.30199	-50.43	51.96	-2.05	0.2090	-0.0043	234.41
73	161.69	-41.78	0.72	-0.25289	-42.23	60.16	-1.89	0.2420	-0.0044	238.94
74	163.54	-33.80	0.96	-0.20379	-34.03	68.36	-1.65	0.2750	-0.0049	243.26
75	165.01	-25.73	1.20	-0.15467	-25.83	76.56	-1.41	0.3080	-0.0053	247.42
76	166.07	-17.60	1.52	-0.10559	-17.63	84.76	-1.10	0.3410	-0.0061	251.46
77	166.73	-9.43	1.81	-0.05647	-9.43	92.96	-0.80	0.3740	-0.0067	255.40
78	167.00	-1.24	2.16	-0.00742	-1.24	101.16	-0.45	0.4069	-0.0076	259.27
79	166.86	6.95	2.57	0.041642	6.95	109.35	-0.05	0.4399	-0.0087	263.10
80	166.31	15.13	2.88	0.090733	15.15	117.55	0.26	0.4729	-0.0094	266.89
81	165.37	23.27	3.22	0.139809	23.35	125.74	0.61	0.5059	-0.0103	270.67
82	164.03	31.36	3.44	0.188924	31.55	133.95	0.83	0.5388	-0.0107	274.46
83	162.29	39.37	3.70	0.238008	39.75	142.14	1.09	0.5718	-0.0112	278.26
84	160.17	47.28	4.11	0.287053	47.94	150.33	1.49	0.6048	-0.0123	282.10
85	157.65	55.08	4.38	0.336128	56.13	158.53	1.77	0.6377	-0.0129	285.99
86	154.76	62.75	4.71	0.385215	64.33	166.73	2.10	0.6707	-0.0137	289.97
87	151.50	70.27	5.09	0.434289	72.53	174.92	2.48	0.7037	-0.0147	294.04
88	147.87	77.62	5.38	0.483399	80.73	183.12	2.77	0.7367	-0.0153	298.25
89	143.88	84.78	5.73	0.532459	88.92	191.32	3.11	0.7697	-0.0162	302.64
90	139.54	91.74	5.90	0.581582	97.12	199.52	3.28	0.8026	-0.0163	307.25
91	134.88	98.48	5.98	0.63066	105.32	207.72	3.37	0.8356	-0.0162	312.16
92	129.88	104.98	5.94	0.679794	113.53	215.92	3.33	0.8686	-0.0155	317.49
93	124.57	111.22	5.65	0.728838	121.72	224.11	3.04	0.9015	-0.0138	323.42
94	118.98	117.19	5.14	0.777818	129.90	232.29	2.53	0.9344	-0.0112	330.31
95	113.11	122.86	4.35	0.8267	138.06	240.45	1.73	0.9671	-0.0075	339.11
BF	106.94	128.27	2.61	0.87582	146.26	248.66	0.00	1.0000	0.0000	360.00

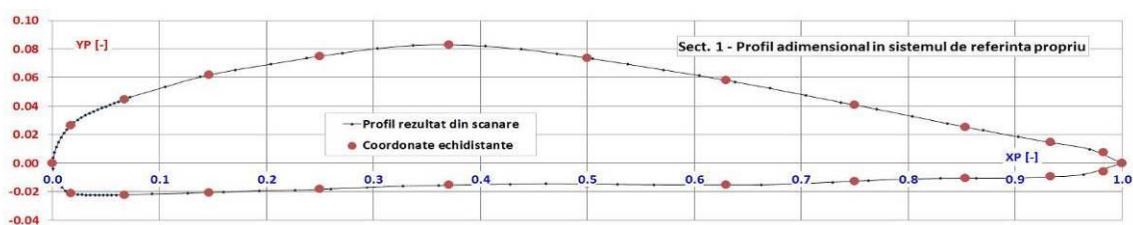


Fig. 6.12 Profil adimensional în sistemul de referință propriu - secțiunea 1

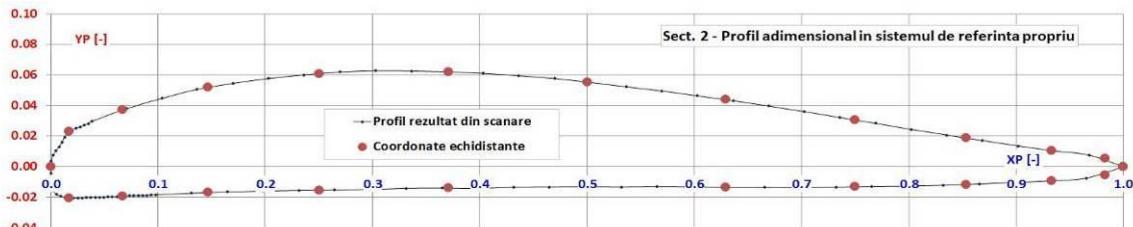


Fig. 6.13 Profil adimensional în sistemul de referință propriu - secțiunea 2

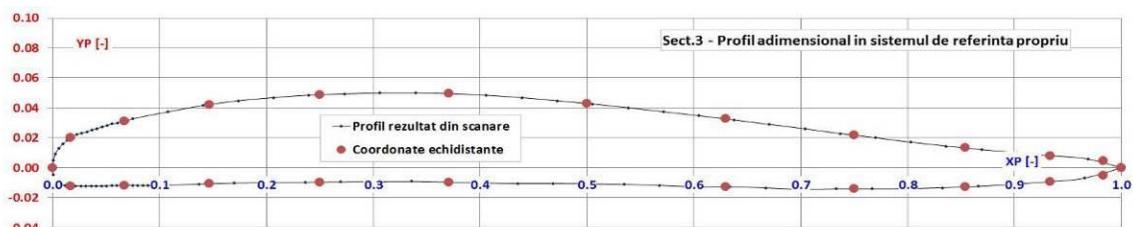


Fig. 6.14 Profil adimensional în sistemul de referință propriu - secțiunea 3

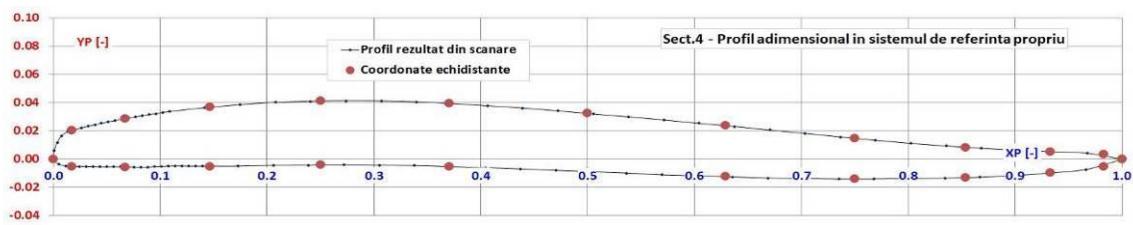


Fig. 6.15 Profil adimensional în sistemul de referință propriu - secțiunea 4

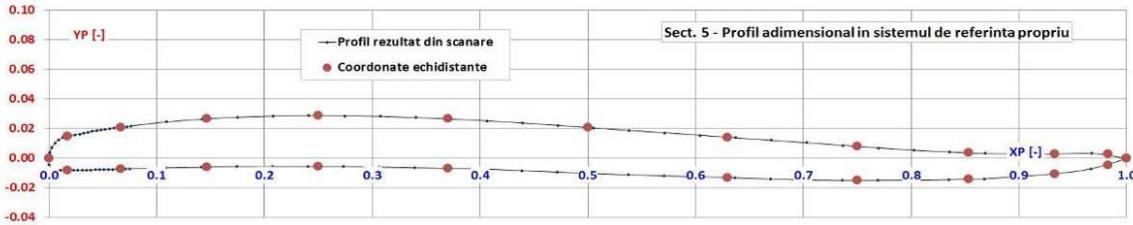


Fig. 6.16 Profil adimensional în sistemul de referință propriu - secțiunea 5

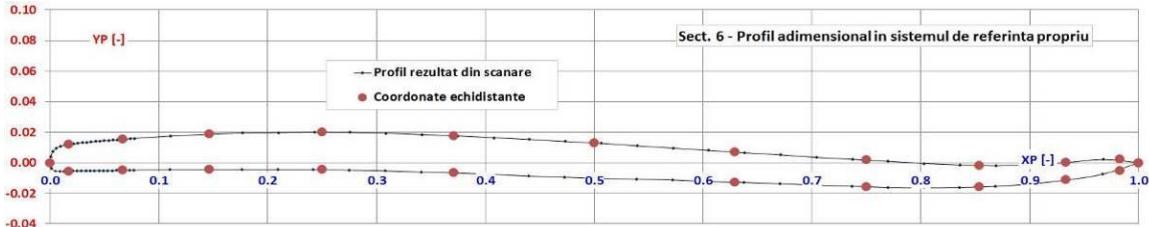


Fig. 6.17 Profil adimensional în sistemul de referință propriu - secțiunea 6

Tabel 6.7 Coordonate echidistante ale profilelor

Zona	X/L	ϕ	Sect. 1	Sect. 2	Sect. 3	Sect. 4	Sect. 5	Sect. 6
		grade	Y/L	Y/L	Y/L	Y/L	Y/L	Y/L
BF	1.00000	0	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
Extrados	0.98296	15	0.00736	0.00568	0.00448	0.00355	0.00316	0.00254
	0.93301	30	0.01449	0.01061	0.00810	0.00547	0.00303	0.00006
	0.85355	45	0.02531	0.01880	0.01323	0.00851	0.00379	-0.00179
	0.75000	60	0.04077	0.03061	0.02171	0.01489	0.00817	0.00177
	0.62941	75	0.05812	0.04387	0.03268	0.02380	0.01443	0.00695
	0.50000	90	0.07370	0.05539	0.04295	0.03246	0.02100	0.01298
	0.37059	105	0.08288	0.06208	0.04952	0.03955	0.02677	0.01767
	0.25000	120	0.07497	0.06098	0.04877	0.04127	0.02898	0.02000
	0.14645	135	0.06185	0.05198	0.04223	0.03693	0.02679	0.01867
	0.06699	150	0.04467	0.03722	0.03115	0.02876	0.02111	0.01534
BA	0.01704	165	0.02653	0.02291	0.02003	0.02042	0.01515	0.01187
BF	0.00000	180	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
Intrados	0.01704	195	-0.02116	-0.02037	-0.01234	-0.00499	-0.00797	-0.00546
	0.06699	210	-0.02225	-0.01922	-0.01182	-0.00533	-0.00714	-0.00498
	0.14645	225	-0.02068	-0.01691	-0.01070	-0.00490	-0.00588	-0.00437
	0.25000	240	-0.01827	-0.01529	-0.00955	-0.00399	-0.00540	-0.00451
	0.37059	255	-0.01542	-0.01398	-0.00957	-0.00512	-0.00665	-0.00663
	0.50000	270	-0.01456	-0.01301	-0.01075	-0.00867	-0.00998	-0.01017
	0.62941	285	-0.01526	-0.01347	-0.01274	-0.01226	-0.01291	-0.01272
	0.75000	300	-0.01264	-0.01313	-0.01411	-0.01397	-0.01488	-0.01568
	0.85355	315	-0.01052	-0.01159	-0.01286	-0.01298	-0.01407	-0.01587
	0.93301	330	-0.00949	-0.00915	-0.00925	-0.00964	-0.01028	-0.01134
BF	0.98296	345	-0.00594	-0.00561	-0.00508	-0.00524	-0.00456	-0.00519
BF	1.00000	360	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000

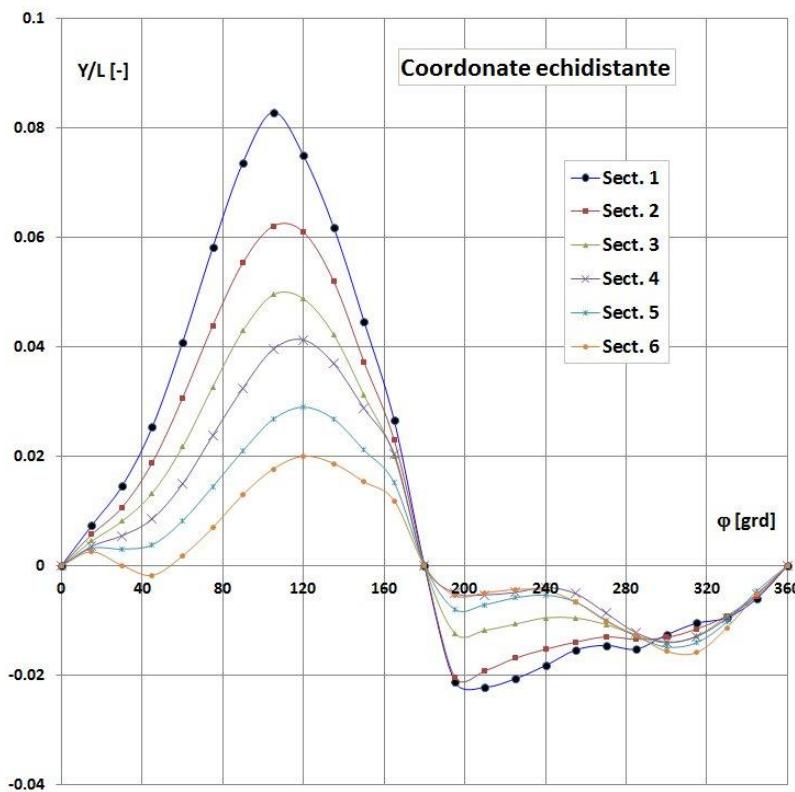


Fig. 6.18 Variația ordonatelor profilului YE_{spline} în raport cu unghiul ϕ pentru cele 6 secțiuni de calcul

Tabel 6.8 Coordonate echidistante ale profilelor

Nr.	Secțiunea 1		Secțiunea 2		Secțiunea 3		Secțiunea 4		Secțiunea 5		Secțiunea 6	
	a _n	b _n										
1	0.02870	0.00000	0.02070	0.00000	0.01634	0.00000	0.01404	0.00000	0.00606	0.00000	0.00076	0.00000
2	-0.00485	0.04383	-0.00459	0.03530	-0.00573	0.02775	-0.00753	0.02179	-0.00572	0.01699	-0.00576	0.01255
3	-0.01479	-0.01233	-0.01083	-0.01032	-0.00769	-0.00723	-0.00510	-0.00530	-0.00249	-0.00402	-0.00045	-0.00249
4	0.00515	0.00067	0.00489	0.00186	0.00516	0.00152	0.00552	0.00166	0.00495	0.00210	0.00479	0.00179
5	0.00047	-0.00091	-0.00005	-0.00126	0.00011	-0.00089	-0.00022	-0.00076	0.00019	-0.00093	0.00086	-0.00049
6	-0.00044	0.00220	0.00018	0.00163	0.00021	0.00117	0.00041	0.00089	0.00042	0.00098	0.00067	0.00100
7	-0.00014	-0.00105	0.00011	-0.00102	-0.00030	-0.00080	-0.00040	-0.00041	-0.00007	-0.00056	-0.00003	-0.00044
8	0.00058	0.00108	-0.00014	0.00121	0.00011	0.00078	0.00054	0.00063	0.00011	0.00065	0.00000	0.00056
9	0.00004	-0.00046	0.00023	-0.00066	-0.00016	-0.00043	-0.00060	-0.00039	-0.00032	-0.00041	-0.00045	-0.00023
10	-0.00039	0.00023	-0.00019	0.00055	0.00011	0.00042	0.00054	0.00032	0.00010	0.00033	0.00011	0.00036
11	0.00015	-0.00039	0.00012	-0.00033	-0.00007	-0.00028	-0.00045	-0.00019	-0.00020	-0.00023	-0.00023	-0.00019
12	-0.00005	0.00038	-0.00015	0.00023	0.00014	0.00019	0.00052	0.00014	0.00014	0.00007	0.00019	-0.00001
13	-0.00007	0.00000	0.00007	0.00000	-0.00007	0.00000	-0.00025	0.00000	-0.00014	0.00000	-0.00009	0.00000
Verificare prin relația lui Parseval [10] relația 3.25												
	0.03317	0.03317	0.02088	0.02088	0.01297	0.01297	0.00866	0.00866	0.00473	0.00473	0.00272	0.00272

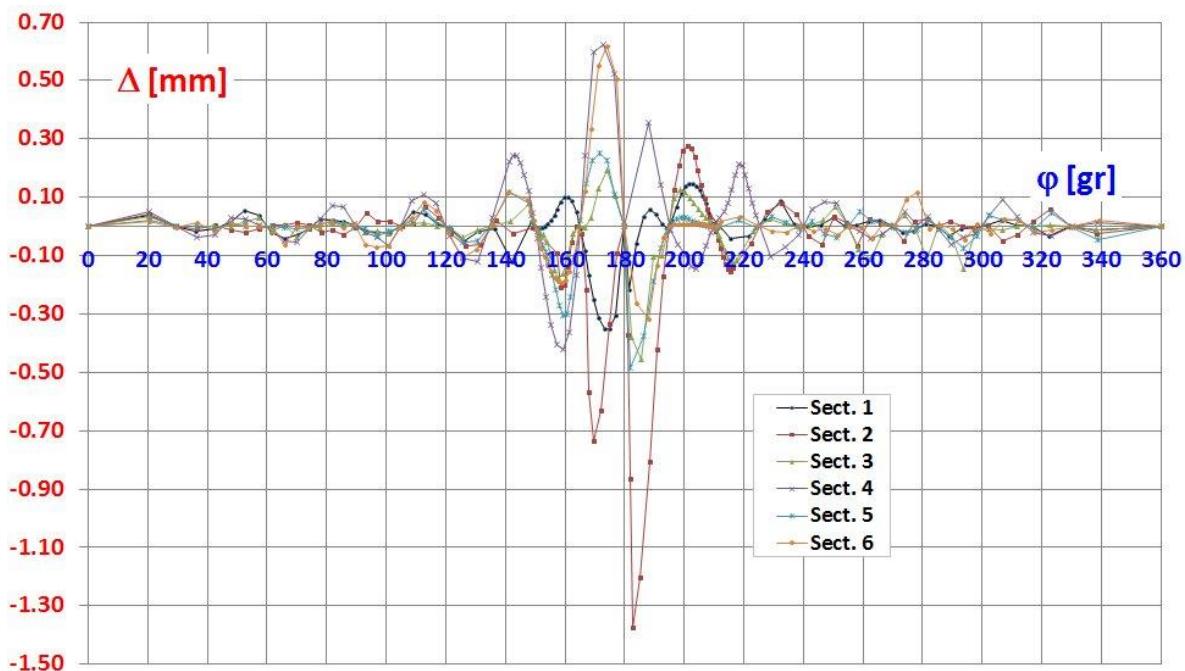


Fig. 6.19 Diferențe între profilele scanate și recalculate prin serie Fourier pentru 6 secțiuni de calcul

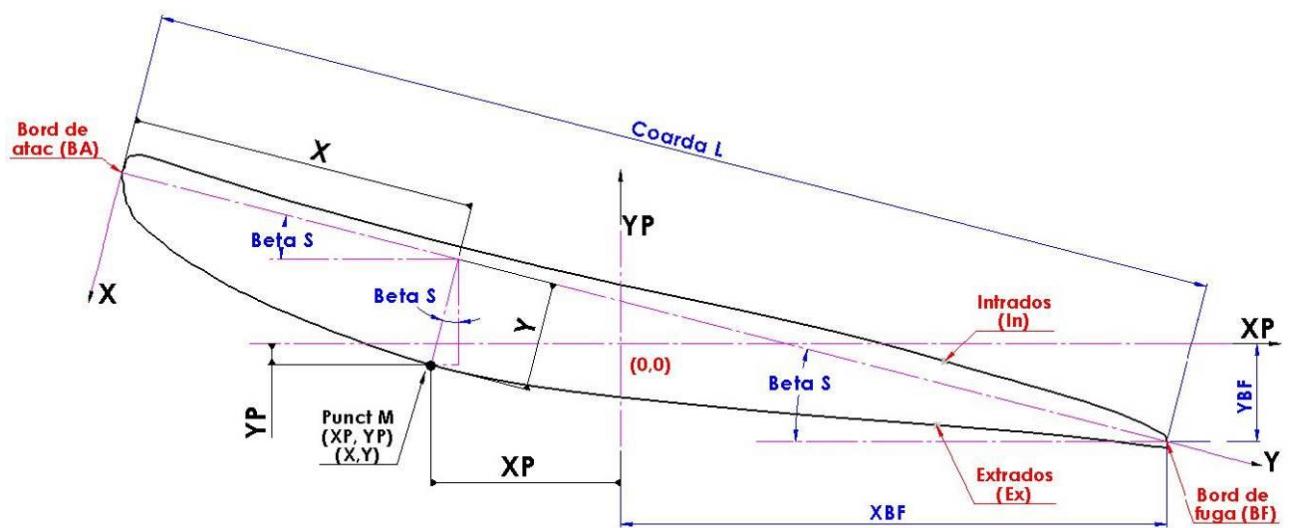


Fig. 6.20 Transpunerea coordonatelor tridimensionale ale profilului din sistemul de referință propriu

$$X_P = (X - L) \cdot \cos(\beta_S) - Y \cdot \sin(\beta_S) + X_{BF} \quad 6.1$$

$$Y_P = (L - X) \cdot \sin(\beta_S) - Y \cdot \cos(\beta_S) + Y_{BF} \quad 6.2$$

$$X_{3D} = R * \cos(X_P/R) \quad 6.3$$

$$Y_{3D} = R * \sin(X_P/R) \quad 6.4$$

$$Z_{3D} = Y_P \quad 6.5$$

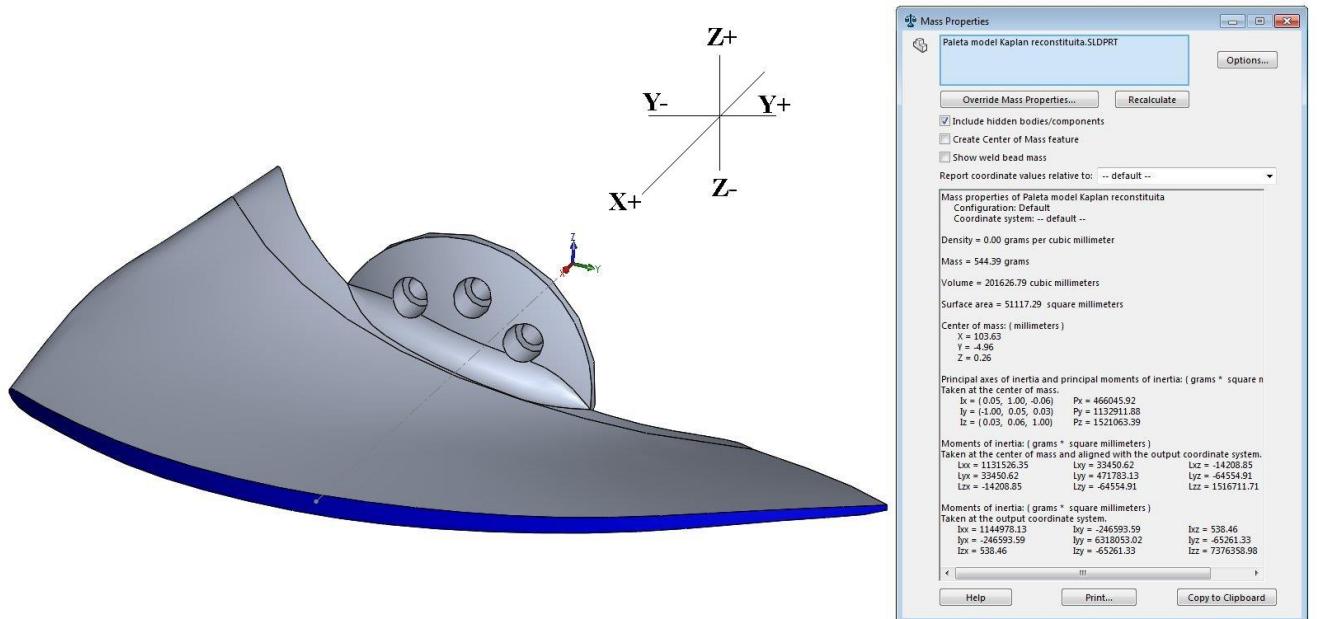


Fig. 6.21 Geometria paletei reconstituite

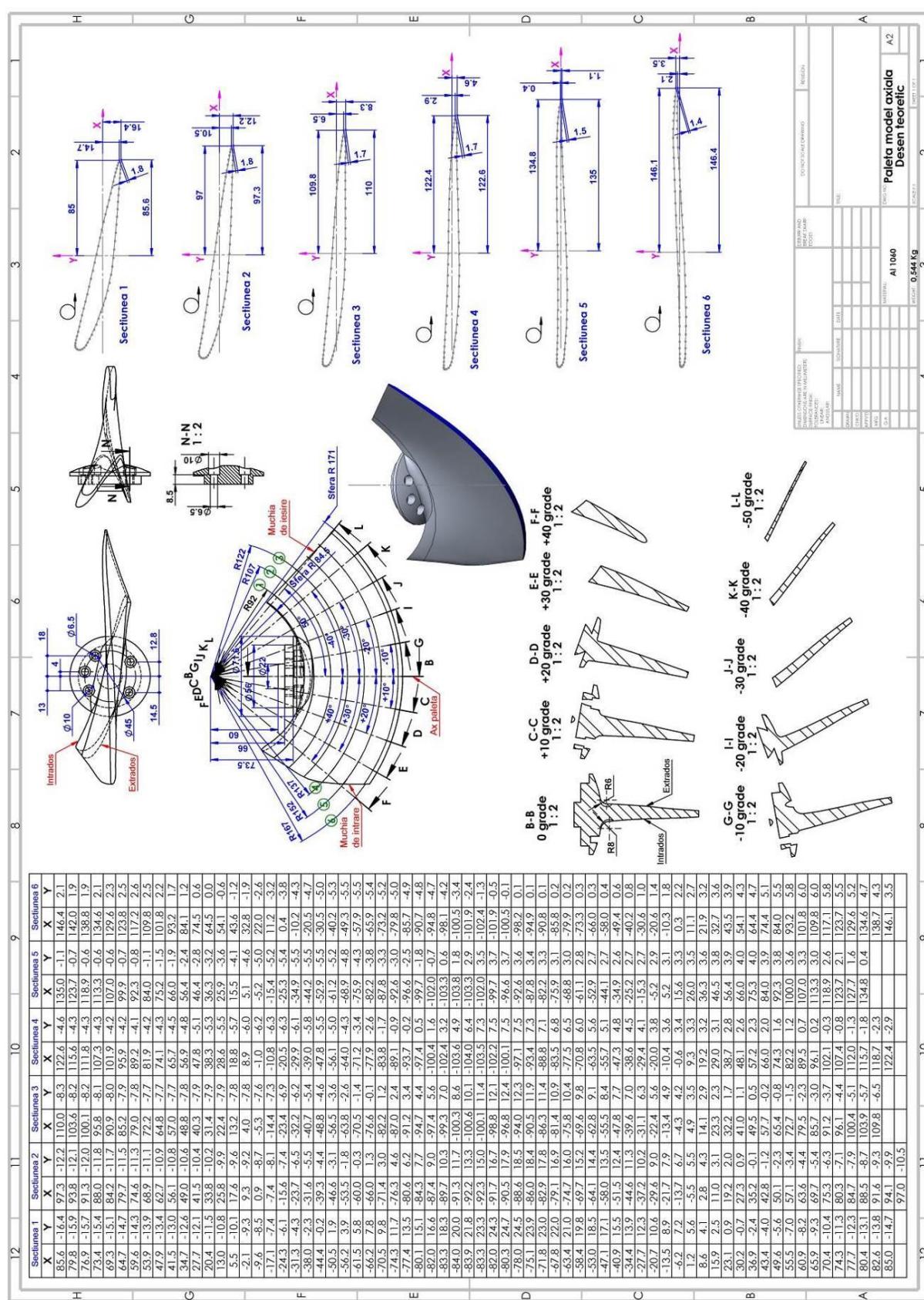


Fig. 6.22 Desenul de execuție al paletei reconstituuite

6.5 Comparația triangularizării norului de puncte cu paleta reconstituită

Figura 6.23 prezintă, sub formă tabelară și a hărții de culori, comparația paletei scanate triangularizate cu cea reconstituită ca geometrie solidă în SolidWorks. Cele două geometrii au fost importate în aplicația GOM Inspect; paletele s-au aliniat pe baza unui algoritm intern al aplicației (*automatic best-fit alignment*), astfel încât geometria paletei reconstituite se suprapune cu abateri minime față de geometria paletei de referință. Din tabelul atașat raportului GOM Inspect, se observă că cele mai mari erori sunt în zona fusului paletei $-1.57 \div +1,73$ mm, în rest cele mai multe valori sunt încadrate în domeniul $\pm 0,1$ mm.

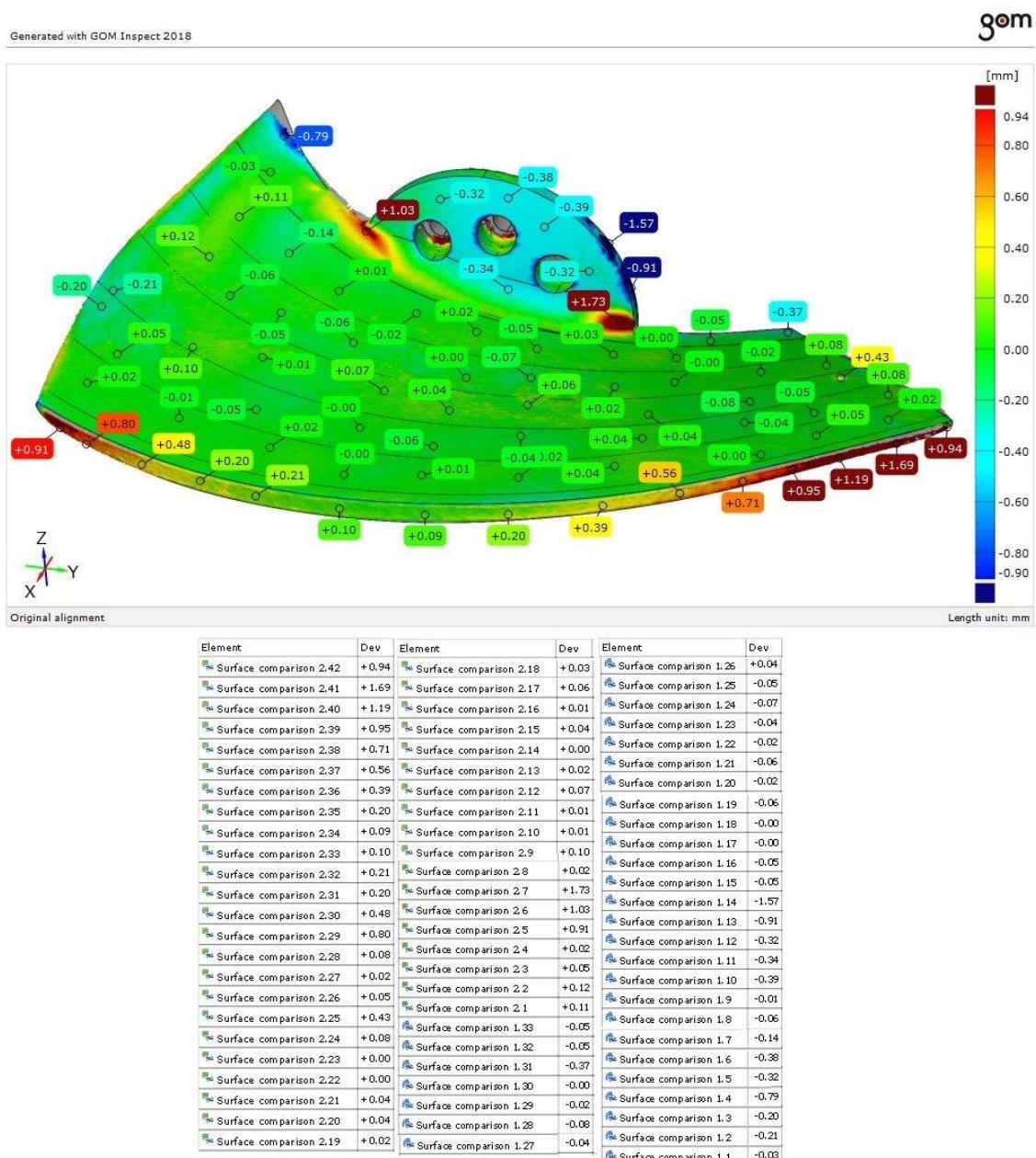


Fig. 6.23 Comparația triangularizării norului de puncte cu paleta reconstituită

6.6 Comparație măsurători ale paletei model axială cu cea reconstituită în SolidWorks

Pentru a verifica acuratețea reconstituirii paletei model axială s-a procedat la măsurarea acesteia pe mașina cu comandă numerică în 5 axe DMF 180 DECKEL MAHO, [figura 6.24](#). La capătul palpatorului de măsură este plasată o sferă de rază 1,963 mm.



Fig. 6.24 Mașina cu comandă numerică în 5 axe DMF 180 DECKEL MAHO

Paleta a fost fixată în menghina mașinii astfel ca axa acesteia să fie plasată în plan vertical, iar palpatorul de măsură a fost inclinat la 45 grade pentru măsurarea propriu-zisă, [figura 6.25](#) respectiv [figura 6.26](#). Astfel măsurarea s-a efectuat fără a modifica poziția paletei atât pe intradosul cât și pe extradosul paletei. [Figura 6.27](#) prezintă 3 plane care intersectează paleta, notate cu A-A, B-B, D-D și plasate la distanțele 40, 60, 80 mm față de fusul paletei. Intersecția paletei cu aceste plane va genera trei profile, ale căror valori rezultate din SolidWorks sunt centralizate în [tabelul 6.9](#) și care vor fi verificate prin măsurători pe paleta reală.



Fig. 6.25 Măsurarea intradosului paletei



Fig. 6.26 Măsurarea extradosului paletei

Tabel 6.9 Coordonate ale profilelor din planele de intersecție A-A, B-B, C-C

Secțiunea	A-A X=40 mm		B-B X=60 mm		C-C X=80 mm		
	Y	Zex	Zin	Zex	Zin	Zex	Zin
120				2.97	5.69		
110	-1.23	1.33		2.03	5.2		
100	-2.85	0.48		0.67	4.45		
90	-4.54	-0.43		-0.84	3.62	2.04	6.11
80	-6.08	-1.06		-2.28	2.89	0.65	5.35
70	-7.41	-1.43		-3.63	2.34	-0.63	4.72
60	-8.55	-1.56		-4.89	1.98	-1.79	4.23
50	-9.44	-1.3		-5.99	1.83	-2.8	3.89
40	-10	-0.57		-6.81	1.92	-3.63	3.7
30	-10.2	0.58		-7.35	2.23	-4.29	3.63
20	-10.03	2.02		-7.63	2.75	-4.83	3.61
10	-9.53	3.67		-7.7	3.45	-5.27	3.61
0	-8.79	5.45		-7.58	4.26	-5.6	3.63
-10	-7.83	7.22		-7.28	5.05	-5.75	3.69
-20	-6.62	8.8		-6.79	5.73	-5.7	3.78
-30	-5.25	10.03		-6.1	6.23	-5.53	3.81
-40	-3.92	10.85		-5.33	6.51	-5.36	3.72
-50	-2.68	11.21		-4.65	6.53	-5.2	3.48
-60	-1.49	11.07		-4	6.35	-4.95	3.08
-70	-0.27	10.52		-3.08	6.1	-4.52	2.45
-80	0.83	9.68		-2.32	5.42	-4.19	1.63
-90	1.79	8.47		-1.91	4.47	-4.32	0.54

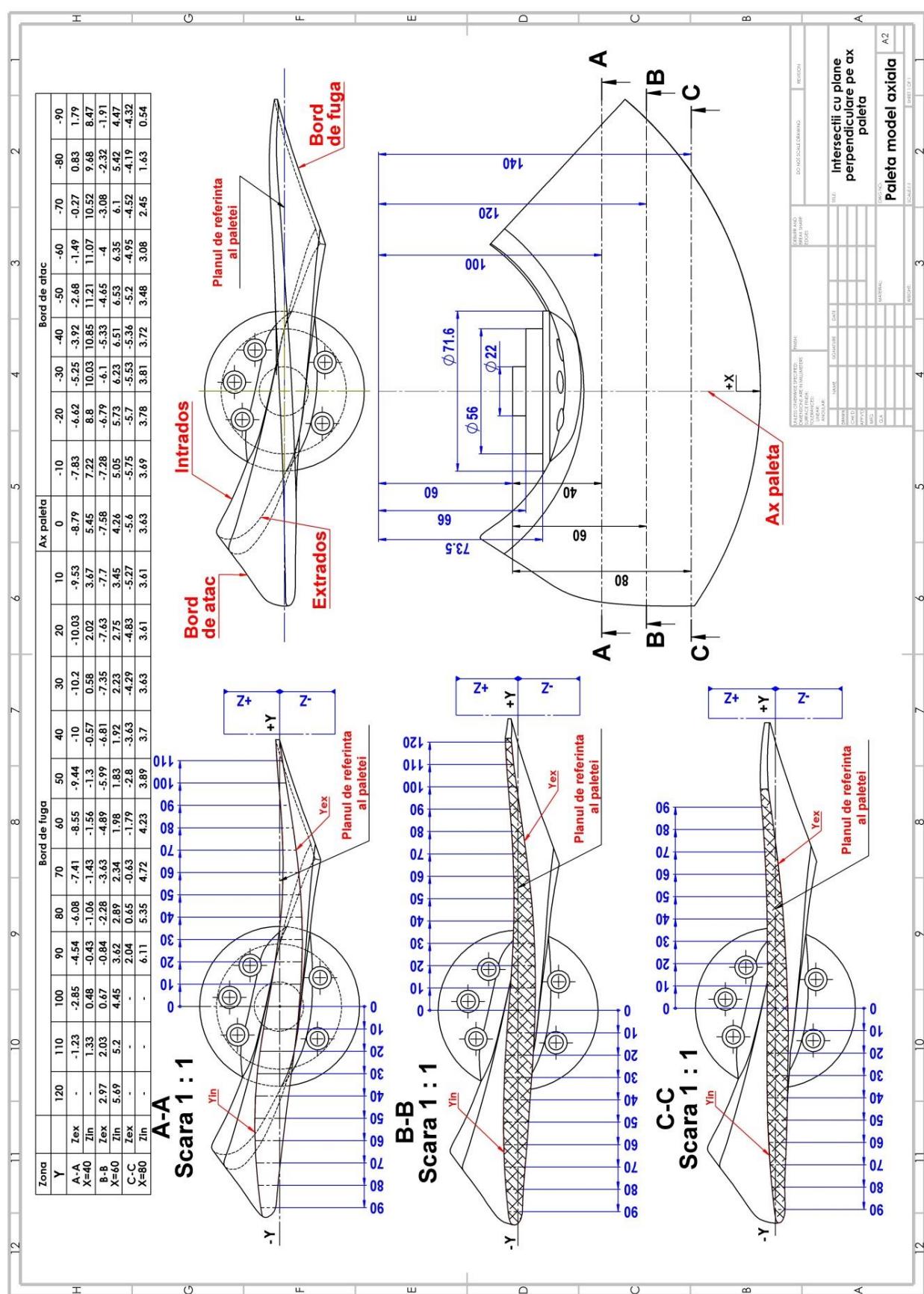


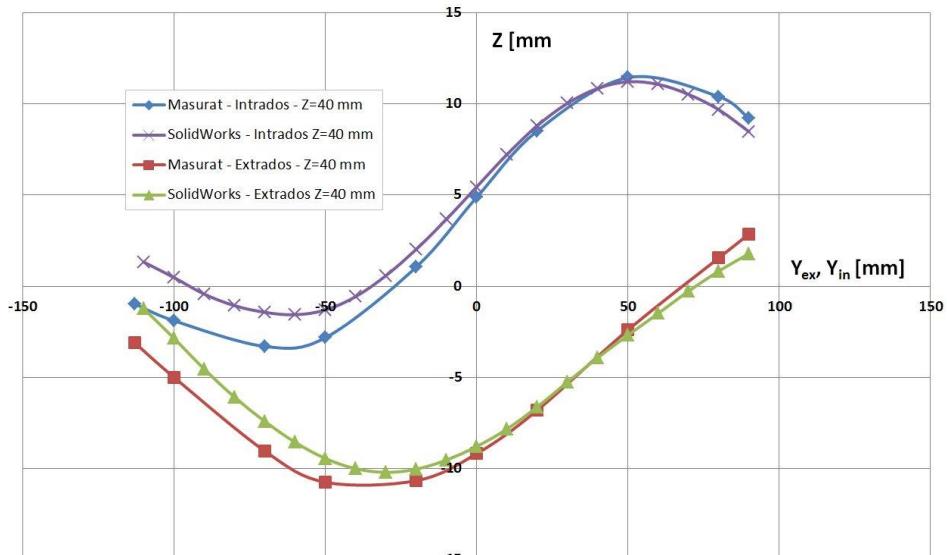
Fig. 6.27 Puncte de măsură pe paleta model axială

Tabel 6.10 Puncte măsurate pe paleta model axială

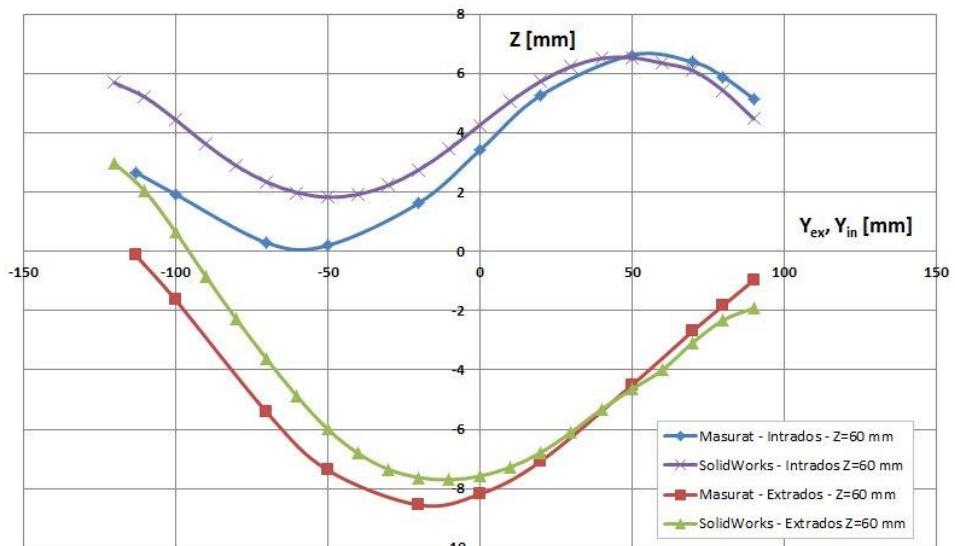
Zona	Intrados			Zona	Extrados			
	X	Y	Z		X	Y	Z	
BF	40	113	-0.968	BF	40	113	-3.096	
	40	100	-1.889		40	100	-4.988	
	40	70	-3.296		40	70	-9.033	
	40	50	-2.822		40	50	-10.743	
	40	20	1.046		40	20	-10.660	
	40	0	4.876		40	0	-9.180	
	40	-20	8.514		40	-20	-6.801	
	40	-50	11.440		40	-50	-2.394	
	40	-80	10.394		40	-80	1.554	
BA	40	-90	9.209	BA	40	-90	2.864	
BF	60	113	2.662	BF	60	113	-0.133	
	60	100	1.930		60	100	-1.626	
	60	70	0.290		60	70	-5.419	
	60	50	0.199		60	50	-7.374	
	60	20	1.627		60	20	-8.556	
	60	0	3.408		60	0	-8.187	
	60	-20	5.257		60	-20	-7.083	
	60	-50	6.620		60	-50	-4.512	
	60	-70	6.384		61	-70	-2.689	
	60	-80	5.887		60	-80	-1.826	
	60	-90	5.149		60	-90	-0.974	
	BF	80	100	4.281	BF	80	100	1.189
	80	80	3.145		80	80	-1.419	
	80	70	2.691		80	70	-2.534	
	80	50	2.145		80	50	-4.338	
	80	20	2.287		80	20	-5.939	
	80	0	2.684		80	0	-6.305	
	80	-20	3.113		80	-20	-6.124	
	80	-50	3.340		80	-50	-5.117	
	80	-70	2.687		80	-70	-4.290	
	80	-80	2.039		80	-80	-3.872	
	80	-90	1.123		80	-90	-3.519	
BA	80	-95	0.526	BA	80	-95	-3.304	
Legenda: BA – Bord de atac profil ; BF – Bord de fugă profil								

Comparația profilelor din cele trei plane de intersecție din [tabelul 6.9](#) cu profilele rezultate din măsurători din [tabelul 6.10](#) este prezentată în [figurile 6.28 ÷ 6.30](#). Din toate cele trei grafice rezultă un defazaj unghiular al curbelor, care se datorează faptului că la montarea paletei în

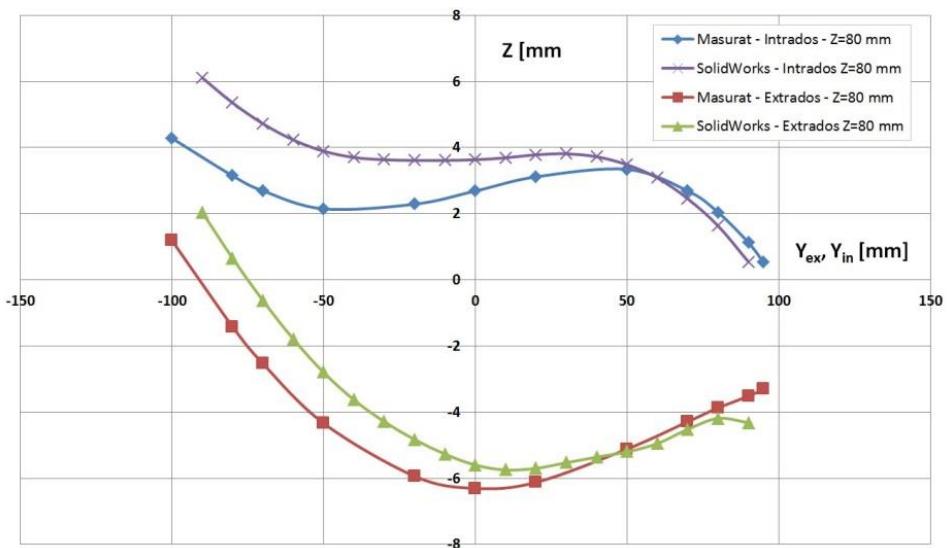
menghina mașinii nu s-a respectat planul de referință al paletei din figura 6.27, care este un plan teoretic și deci nu este măsurabil.



*Fig. 6.28
Comparație
puncte profile
din SolidWorks
cu cele
măsurate pentru
 $X=40\text{ mm}$*



*Fig. 6.29
Comparație
puncte profile
din SolidWorks
cu cele
măsurate pentru
 $X=60\text{ mm}$*



*Fig. 6.30
Comparație
puncte profile
din SolidWorks
cu cele
măsurate pentru
 $X=80\text{ mm}$*

Din acest motiv a fost necesară rotația curbelor măsurate în jurul punctului origine. Într-un sistem de coordonate carteziene, prin rotație cu un unghi θ în jurul originii, coordonatele unui punct M se transpun în punctul M' , conform relațiilor:

$$y' = y \cdot \cos(\theta) - z \cdot \sin(\theta) \quad (6.6)$$

$$z' = y \cdot \sin(\theta) + z \cdot \cos(\theta) \quad (6.7)$$

Deoarece unghiul de rotație θ nu este cunoscut și nici măsurabil – deoarece planul de referință al paletei din [figura 6.27](#) este un plan teoretic și nemăsurabil - soluția aplicată a fost găsirea unghiului θ prin iterații succesive în Microsoft Excel, astfel încât defazajul unghiular al curbelor să fie minimizat.

Pentru unghiul găsit prin iterație $\theta = -1$ grade, noile curbe de comparație sunt prezentate în [figurile 6.31 ÷ 6.33](#). Din aceste figuri se observă că noile curbe rotite sunt paralele cu cele generate din SolidWorks, fără însă a se suprapune. Aceasta se datorează faptului că axa teoretică a paletei nu a coincis cu axa paletei în poziția de măsurare. În consecință, în afara defazajului unghiular constatat anterior, se poate observa și un defazaj de poziție linear, valoarea acestuia fiind diferită pentru intrados respectiv extrados. Astfel s-a impus o nouă corecție pentru coordonata Z , prin următoarele relații:

$$z' = y \cdot \sin(\theta) + z \cdot \cos(\theta) + CT \quad (6.8)$$

unde CT este constanta de corecție, ale căror valori au fost găsite prin iterații succesive în Microsoft Excel, astfel încât defazajul de poziție linear să fie minimizat.

Pentru constantele găsite prin iterație $CT_{\text{Intrados}}=0.85$ respectiv $CT_{\text{Extrados}}=0.6$, noile curbe de comparație sunt prezentate în [figurile 6.34 ÷ 6.36](#).

Din aceste figuri se constată o suprapunere corectă a curbelor de comparație, micile abateri datorându-se erorilor însumate de scanare, de generare a geometriei solide și de măsurare. De asemenea aceste erori înglobează și micile modificări aplicate profilelor teoretice datorită operației de netezire a acestora.

[Tabelele 6.11 ÷ 6.13](#) prezintă numeric abaterile, de pe extrados și intrados, dintre punctele generate în SolidWorks pe geometria paletei reconstituite și cele măsurate pe paleta reală. Coloanele $Z_{\text{Ex SPL}}$ respectiv $Z_{\text{In SPL}}$ sunt puncte pe paleta măsurată recalculate prin interpolare spline, după corectarea defazajului unghiular și de poziție linear. Se constată că domeniul de abateri este cuprins între minim -0.37405 respectiv maxim +0.476279 mm.

Tabel 6.11 Abateri puncte pentru secțiunea A-A

Secțiunea	SolidWorks		Puncte recalculate spline după rotație + translație		Abateri		
	A-A X=40 mm		Z _{Ex}	Z _{in}	Z _{Ex SPL}	Z _{In SPL}	ΔZ _{Ex}
Y	Z _{Ex}	Z _{in}	Z _{Ex SPL}	Z _{In SPL}	ΔZ _{Ex}	ΔZ _{In}	
110	-1.23	1.33	-1.02757	1.572683	-0.20243	-0.24268	
100	-2.85	0.48	-2.65386	0.705439	-0.19614	-0.22544	
90	-4.54	-0.43	-4.2799	-0.10716	-0.2601	-0.32284	
80	-6.08	-1.06	-5.85432	-0.80752	-0.22568	-0.25248	
70	-7.41	-1.43	-7.22837	-1.22451	-0.18163	-0.20549	
60	-8.55	-1.56	-8.39483	-1.33653	-0.15517	-0.22347	
50	-9.44	-1.3	-9.28122	-1.09659	-0.15878	-0.20341	
40	-10	-0.57	-9.75186	-0.34582	-0.24814	-0.22418	
30	-10.2	0.58	-9.86982	0.823964	-0.33018	-0.24396	
20	-10.03	2.02	-9.7045	2.242074	-0.3255	-0.22207	
10	-9.53	3.67	-9.26168	3.925289	-0.26832	-0.25529	
0	-8.79	5.45	-8.56627	5.711239	-0.22373	-0.26124	
-10	-7.83	7.22	-7.63348	7.446328	-0.19652	-0.22633	
-20	-6.62	8.8	-6.53566	8.994974	-0.08434	-0.19497	
-30	-5.25	10.03	-5.29969	10.16975	0.049687	-0.13975	
-40	-3.92	10.85	-3.95422	11.01098	0.034221	-0.16098	
-50	-2.68	11.21	-2.6606	11.41325	-0.0194	-0.20325	
-60	-1.49	11.07	-1.48728	11.33174	-0.00272	-0.26174	
-70	-0.27	10.52	-0.36448	10.80901	0.094484	-0.28901	
-80	0.83	9.68	0.755427	9.866027	0.074573	-0.18603	
-90	1.79	8.47	1.888393	8.510295	-0.09839	-0.04029	
			Minim/ Maxim		-0.33018 / 0.094484		

Tabel 6.12 Abateri puncte pentru secțiunea B-B

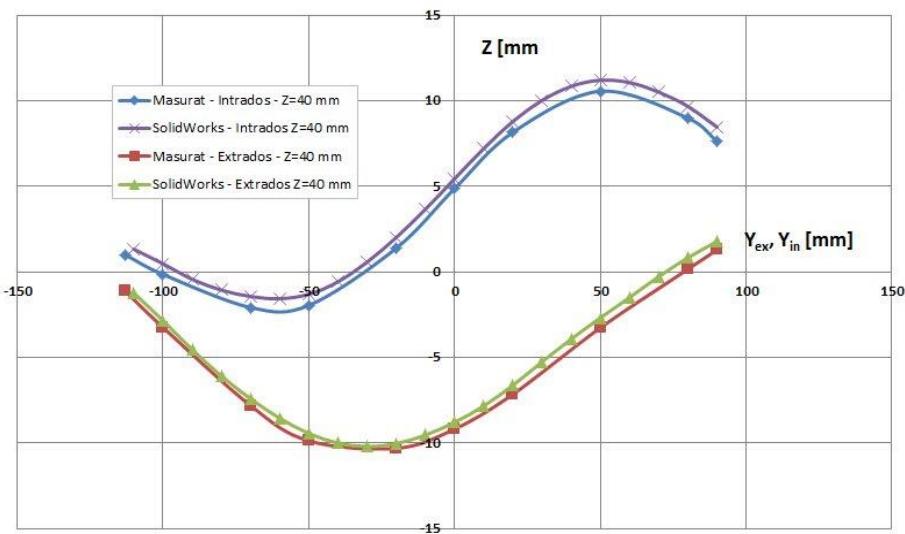
Secțiunea	SolidWorks		Puncte recalculate spline după rotație + translație		Abateri		
	B-B X=60 mm		Z _{Ex}	Z _{in}	Z _{Ex SPL}	Z _{In SPL}	ΔZ _{Ex}
Y	Z _{Ex}	Z _{in}	Z _{Ex SPL}	Z _{In SPL}	ΔZ _{Ex}	ΔZ _{In}	
120	2.97	5.69	3.344045	6.009128	-0.37405	-0.31913	
110	2.03	5.2	2.051152	5.266132	-0.02115	-0.06613	
100	0.67	4.45	0.717348	4.528885	-0.04735	-0.07888	
90	-0.84	3.62	-0.72734	3.735394	-0.11266	-0.11539	
80	-2.28	2.89	-2.22567	2.948831	-0.05433	-0.05883	
70	-3.63	2.34	-3.60751	2.362637	-0.02249	-0.02264	
60	-4.89	1.98	-4.84798	2.03997	-0.04202	-0.05997	
50	-5.99	1.83	-5.91173	1.921953	-0.07827	-0.09195	
40	-6.81	1.92	-6.71096	2.02863	-0.09904	-0.10863	
30	-7.35	2.23	-7.2759	2.343826	-0.0741	-0.11383	
20	-7.63	2.75	-7.60921	2.824424	-0.02079	-0.07442	

Tabel 6.12 Abateri puncte pentru secțiunea B-B

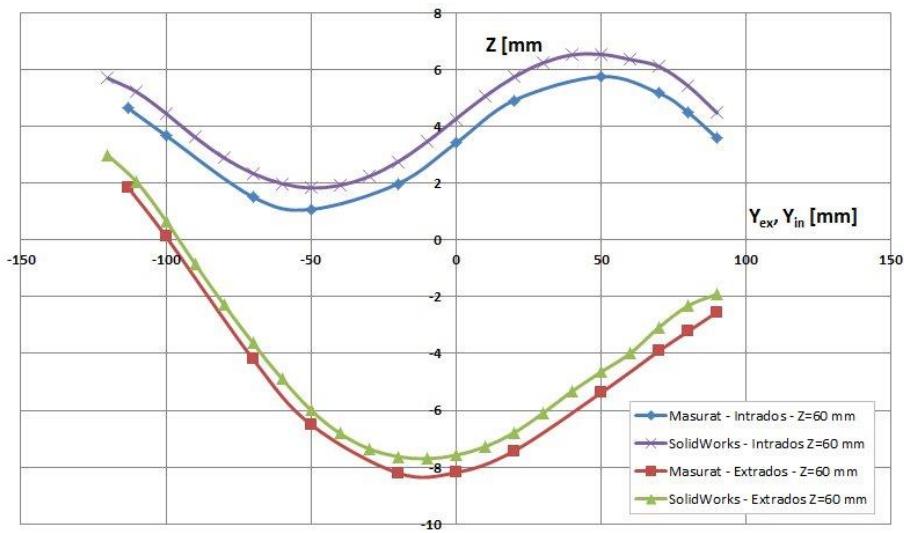
Secțiunea	SolidWorks		Puncte recalulate spline după rotație + translație		Abateri	
	B-B X=60 mm					
10	-7.7	3.45	-7.69953	3.492889	-0.00047	-0.04289
0	-7.58	4.26	-7.58331	4.253476	0.003314	0.006524
-10	-7.28	5.05	-7.2798	5.044502	-0.0002	0.005498
-20	-6.79	5.73	-6.82498	5.75251	0.034984	-0.02251
-30	-6.1	6.23	-6.22991	6.235008	0.129914	-0.00501
-40	-5.33	6.51	-5.51437	6.530399	0.184374	-0.0204
-50	-4.65	6.53	-4.77811	6.597395	0.128114	-0.0674
-60	-4	6.35	-4.03942	6.4276	0.039423	-0.0776
-70	-3.08	6.1	-3.30656	6.017194	0.226558	0.082806
-80	-2.32	5.42	-2.61926	5.347433	0.29926	0.072567
-90	-1.91	4.47	-1.94286	4.435721	0.032858	0.034279
			Minim/ Maxim		-0.37405 / 0.29926	

Tabel 6.13 Abateri puncte pentru secțiunea C-C

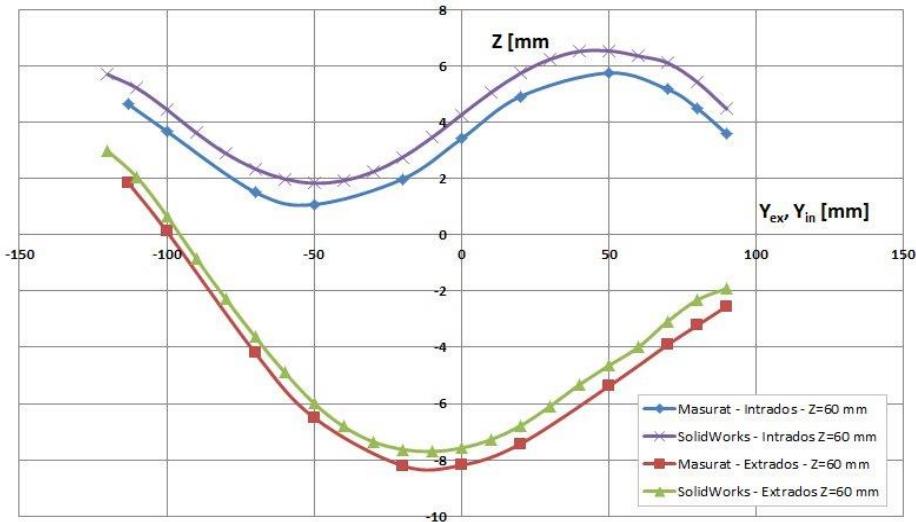
Secțiunea	SolidWorks		Puncte recalulate spline după rotație + translație		Abateri	
	C-C X=80 mm					
Y	Z _{Ex}	Z _{in}	Z _{Ex SPL}	Z _{In SPL}	ΔZ _{Ex}	ΔZ _{In}
90	2.04	6.11	1.993991	6.101306	0.046009	0.008694
80	0.65	5.35	0.575353	5.39554	0.074647	-0.04554
70	-0.63	4.72	-0.71639	4.765889	0.086393	-0.04589
60	-1.79	4.23	-1.86661	4.255213	0.076606	-0.02521
50	-2.8	3.89	-2.8714	3.869085	0.071403	0.020915
40	-3.63	3.7	-3.72451	3.635501	0.094508	0.064499
30	-4.29	3.63	-4.42972	3.530477	0.139724	0.099523
20	-4.83	3.61	-4.9944	3.486207	0.164403	0.123793
10	-5.27	3.61	-5.41994	3.49271	0.14994	0.11729
0	-5.6	3.63	-5.70681	3.533791	0.10681	0.096209
-10	-5.75	3.69	-5.84795	3.585497	0.09795	0.104503
-20	-5.7	3.78	-5.8723	3.613906	0.172302	0.166094
-30	-5.53	3.81	-5.78559	3.605739	0.255592	0.204261
-40	-5.36	3.72	-5.60159	3.54259	0.241591	0.17741
-50	-5.2	3.48	-5.38718	3.318943	0.187176	0.161057
-60	-4.95	3.08	-5.15657	2.912228	0.206565	0.167772
-70	-4.52	2.45	-4.90929	2.317866	0.389295	0.132134
-80	-4.19	1.63	-4.66628	1.495088	0.476279	0.134912
-90	-4.32	0.54	-4.4878	0.403216	0.167803	0.136784
			Minim/ Maxim		-0.04589 / 0.476279	



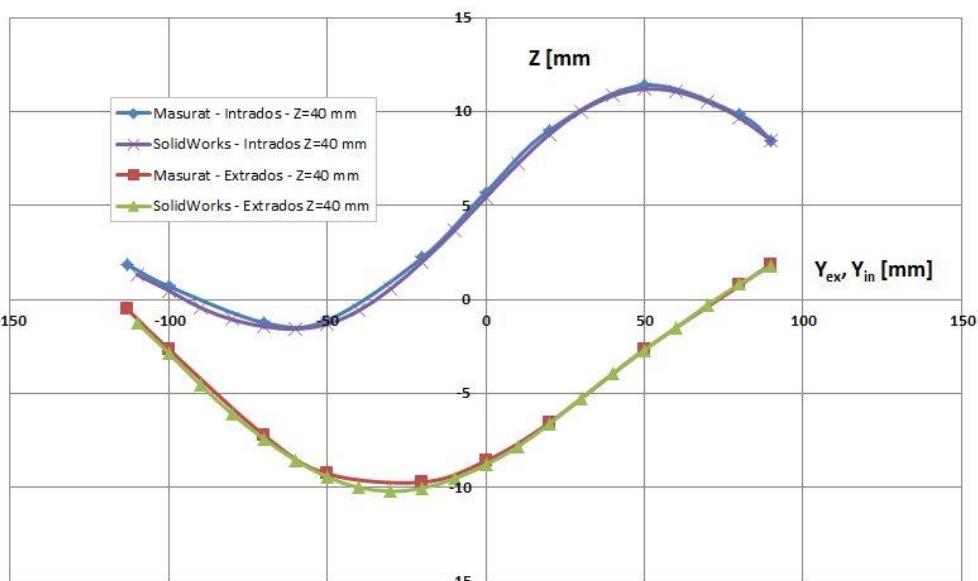
*Fig. 6.31
Comparație puncte profile din SolidWorks cu cele măsurate rotite cu unghiul θ pentru $X=40$ mm*



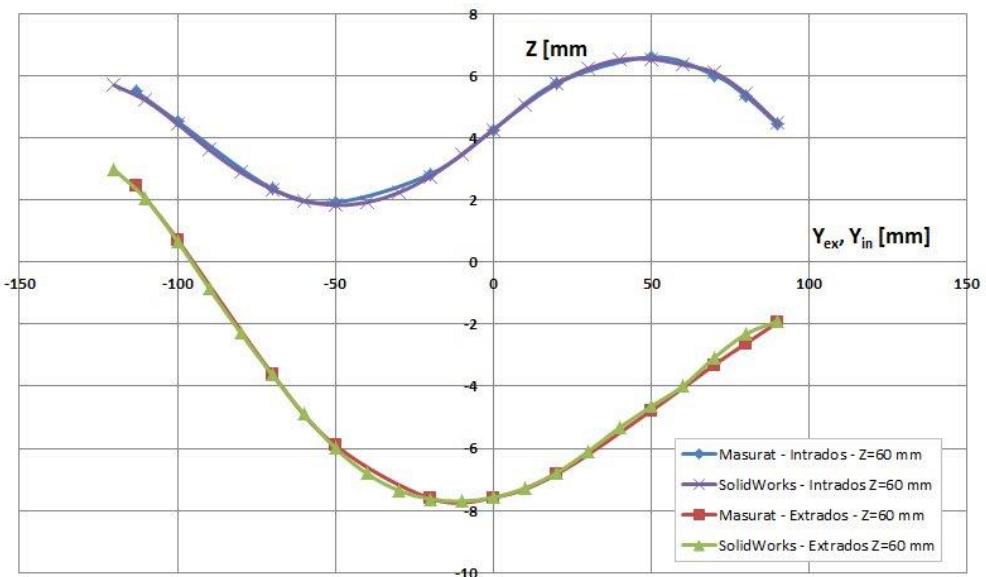
*Fig. 6.32
Comparație puncte profile din SolidWorks cu cele măsurate rotite cu unghiul θ pentru $X=60$ mm*



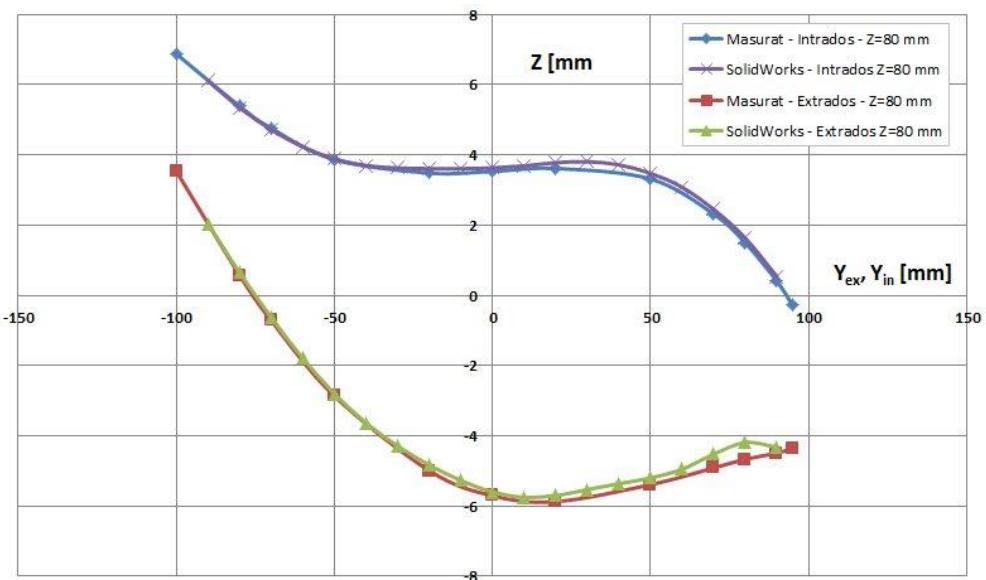
*Fig. 6.33
Comparație puncte profile din SolidWorks cu cele măsurate rotite cu unghiul θ pentru $X=80$ mm*



*Fig. 6.34
Comparație puncte profile din SolidWorks cu cele măsurate rotite unghiul θ și translatate pentru $X=40\text{ mm}$*



*Fig. 6.35
Comparație puncte profile din SolidWorks cu cele măsurate rotite unghiul θ și translatate pentru $X=60\text{ mm}$*



*Fig. 6.36
Comparație puncte profile din SolidWorks cu cele măsurate rotite unghiul θ și translatate pentru $X=80\text{ mm}$*

6.7 Reconstituirea geometriei unei cupe model Pelton

În cadrul acestui capitol se va prezenta reconstituirea geometriei unui palete model Pelton. Pentru această paletă nu există desene de execuție care să includă dimensiuni principale și profilarea paletelor. Reconstituirea geometriei s-a finalizat cu desene de execuție pe baza cărora se pot fabrica palete model pentru încercări experimentale pe stand. Paleta este fabricată din otel, iar greutatea acesteia este 704 grame, [figura 6.37 \[13\]](#).



Fig. 6.37 Geometria paletei model Pelton

6.8 Reconstituirea cupei Pelton prin fotogrametrie

Achiziția imaginilor fotografice s-a realizat cu aparatul foto de calitate NIKON D610 poziționat pe un trepied, generându-se 78 de capturi imagine din diferite unghiuri succesive, care acoperă 720 de grade pe periferia paletei (pe două nivele), [figura 6.38](#). Parametrii de fotografiere utilizati au fost următorii: **Focal length 50, F-stop F/11, ISO 1600, Shutter 1/60**.

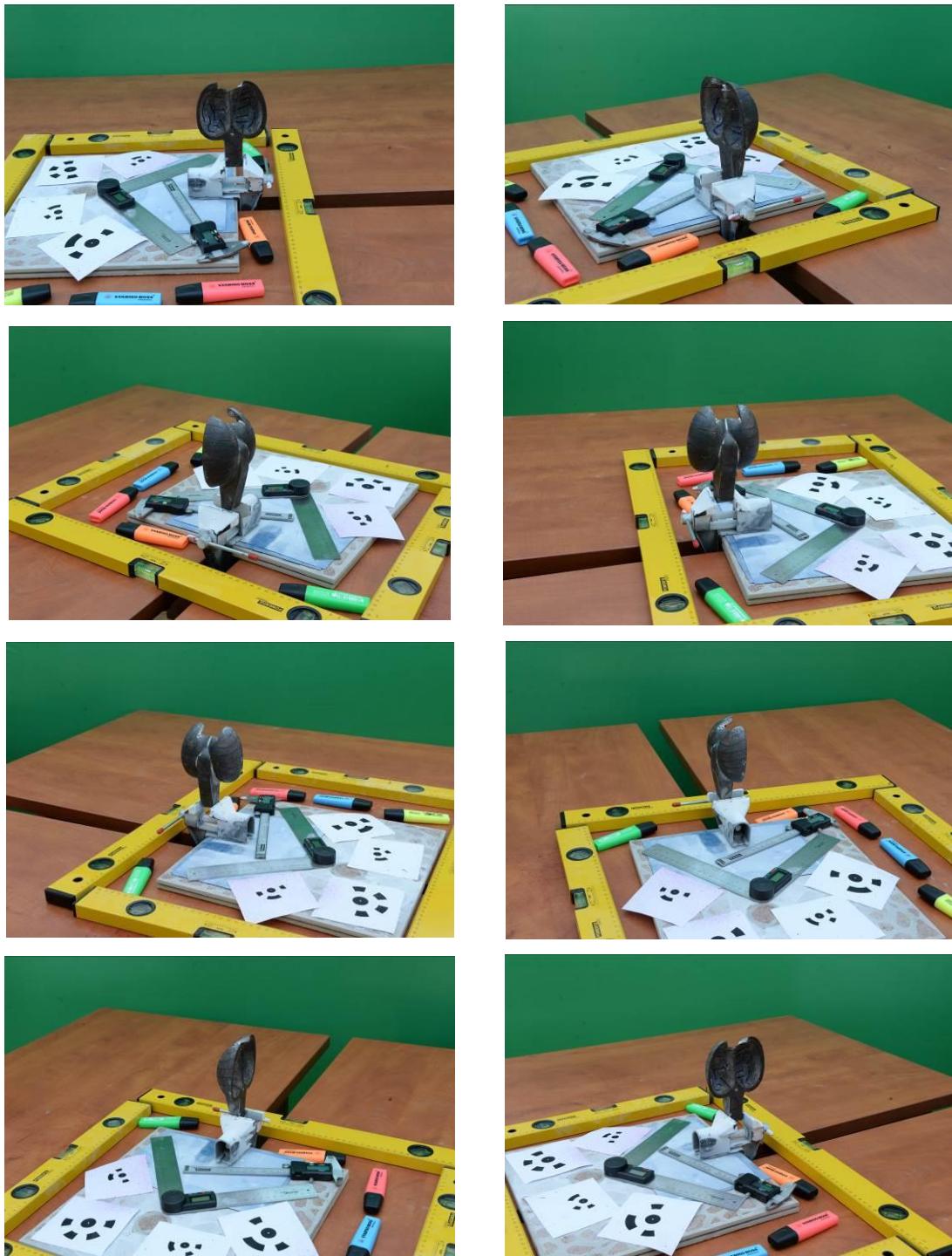


Fig. 6.38 Succesiune de capturi imagine ale cupei Pelton

Importul fotografiilor în programul Agisoft Photoscan, este prezentat în [figura 6.39](#). Norul rar de 208.773 puncte (*sparse cloud*) este prezentat în [figura 6.40](#), iar norul dens de 1.170.227 puncte este prezentat în [figura 6.41](#). Calibrarea norului de puncte (scalarea geometriei la valorile reale), pe baza unor distanțe cunoscute din dimensiunile obiectului real se prezintă în [figura 6.42](#).

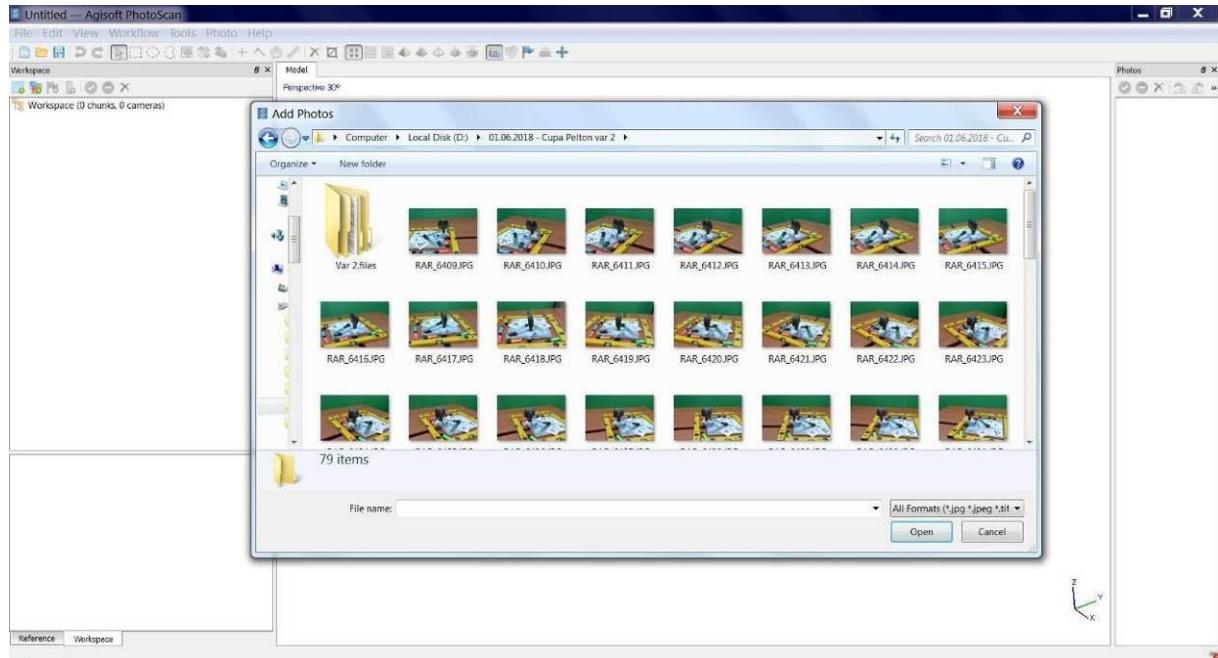


Fig. 6.39 Inserarea imaginilor în programul Agisoft Photoscan

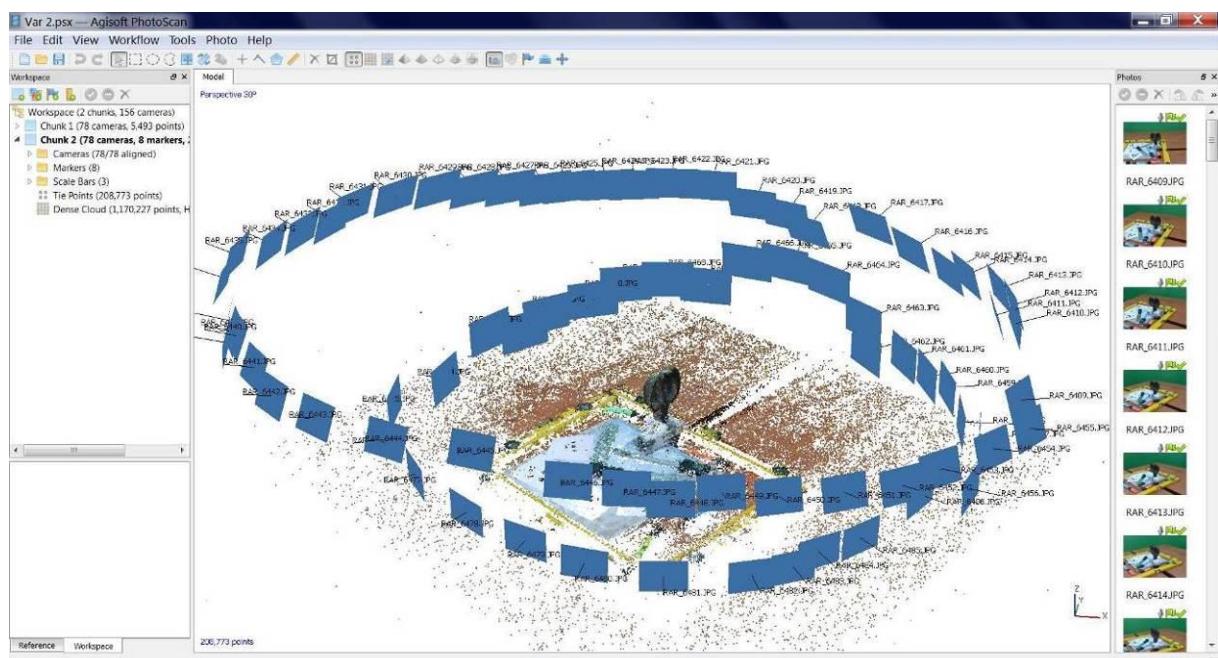


Fig. 6.40 Imagine aliniată în programul Agisoft Photoscan și generare nor rar de 208.773 puncte

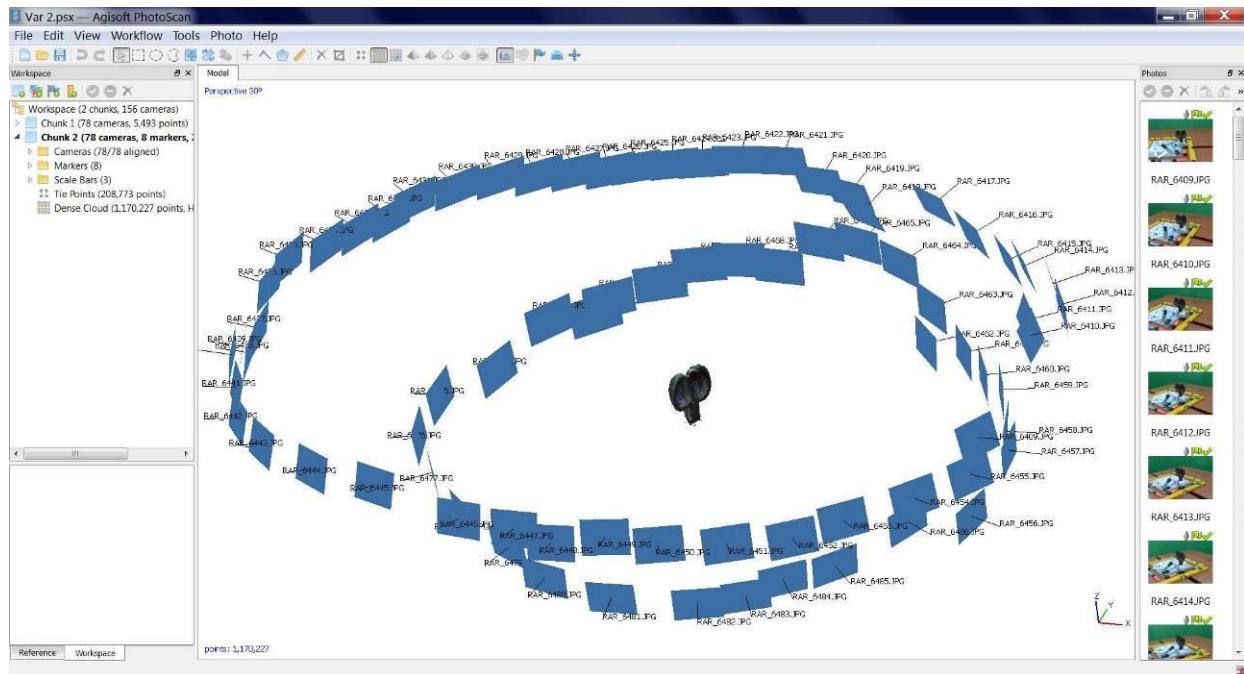


Fig. 6.41 Generare nor dens de 1.170.227 puncte în programul Agisoft Photoscan

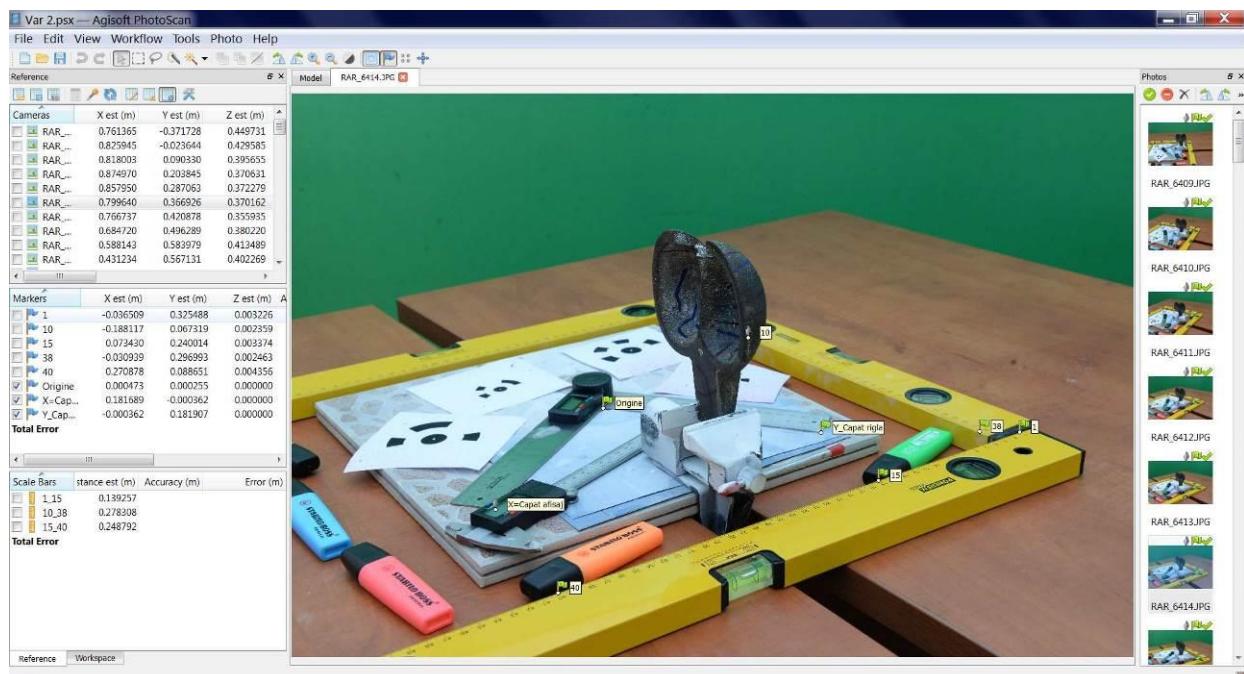


Fig. 6.42 Calibrarea norului de puncte în programul Agisoft Photoscan

6.9 Reconstituirea geometriei solide a cupei Pelton

Norul dens de 1.170.227 puncte a fost încărcat în aplicația Geomagic Design X, figura 6.43, în care au fost generate suprafețele caracteristice ale cupei, suprafețe care au fost exportate în SolidWorks, unde s-a generat geometria solidă a cupei, figura 6.44. Din figura 6.44 rezultă că masa cupei reconstituite este de 701 grame, comparativ cu masa paletei reale de 704 grame, figura 6.37. Figurile 6.45 ÷ 6.47 prezintă desenul de execuție al cupei reconstituite.

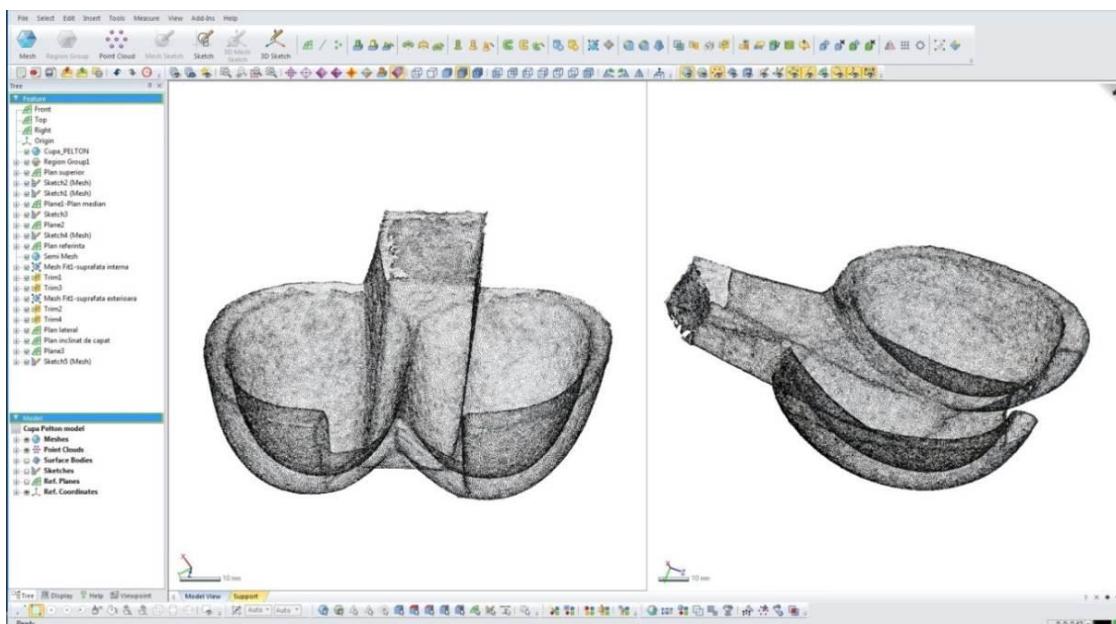


Fig. 6.43 Norul de puncte al cupei Pelton în programul Geomagic Design X

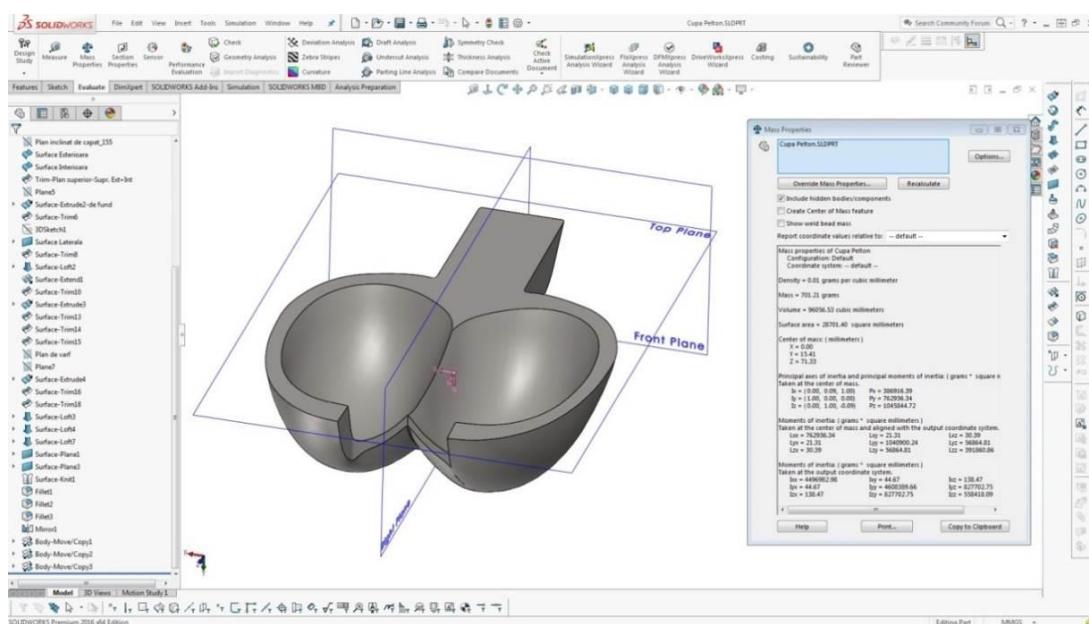


Fig. 6.44 Geometria solidă a cupei Pelton în SolidWorks

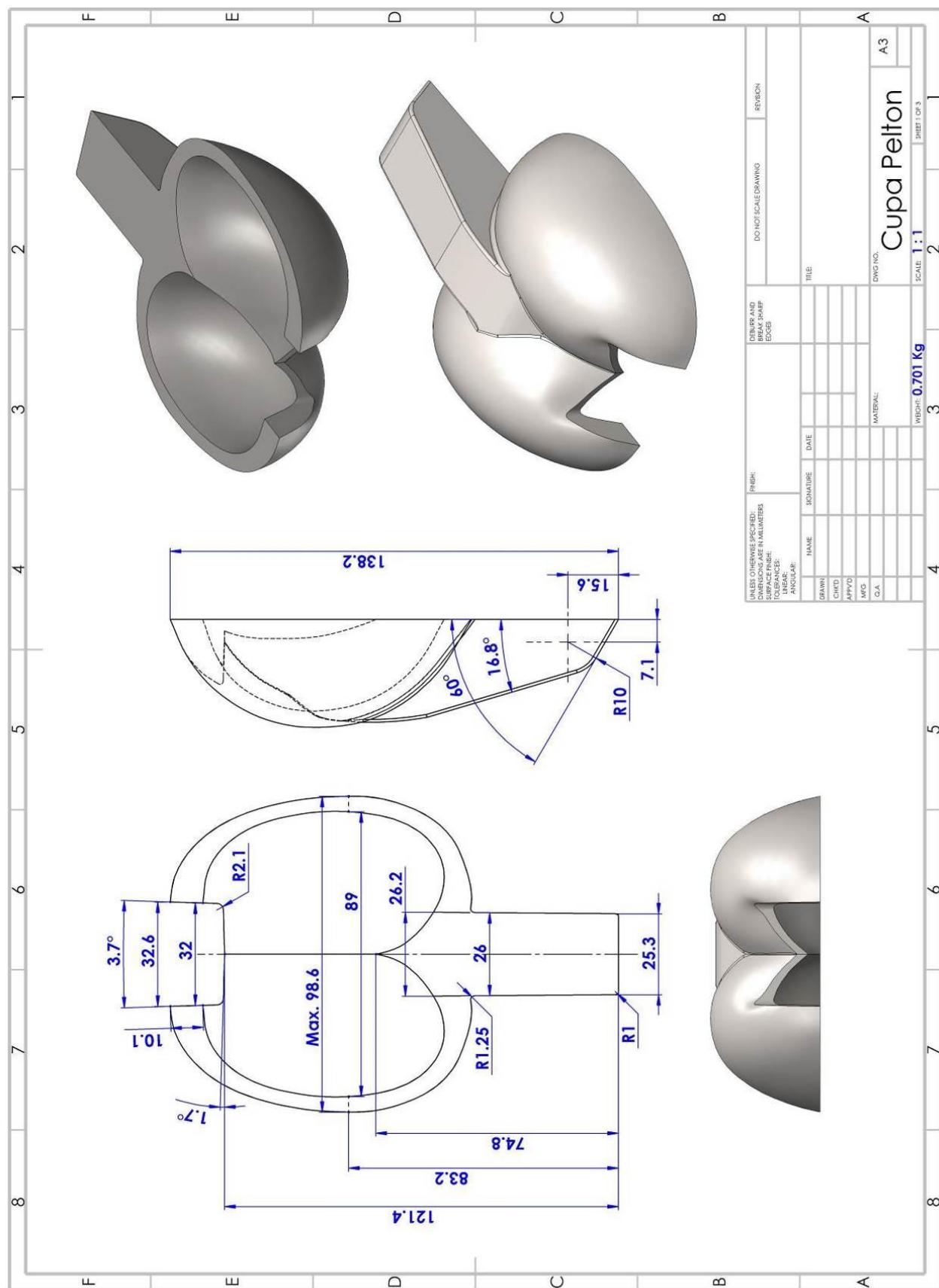


Fig. 6.45 Desenul de execuție al cupei Pelton – Dimensiuni principale

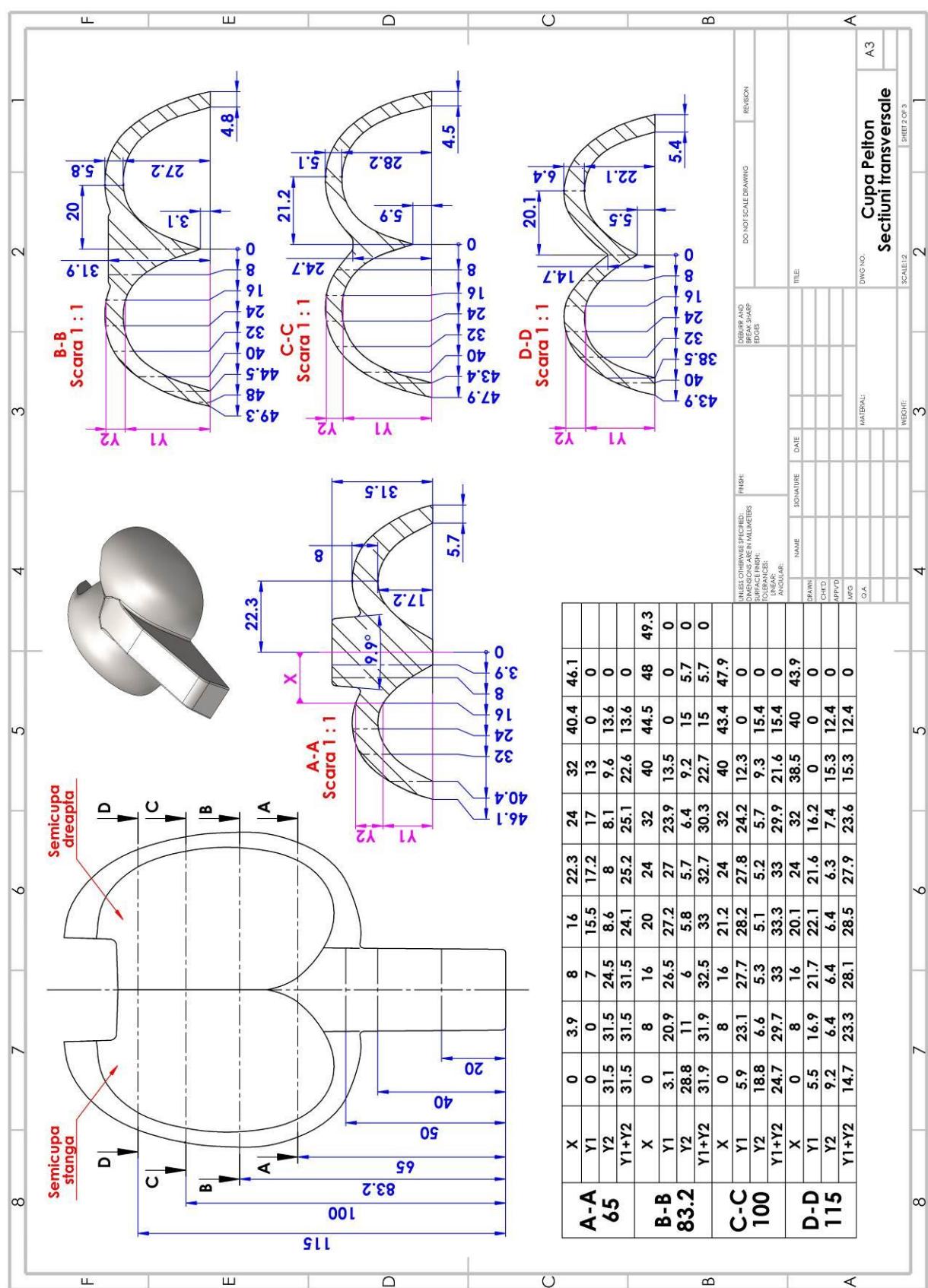


Fig. 6.46 Desenul de execuție al cupei Pelton – Secțiuni transversale

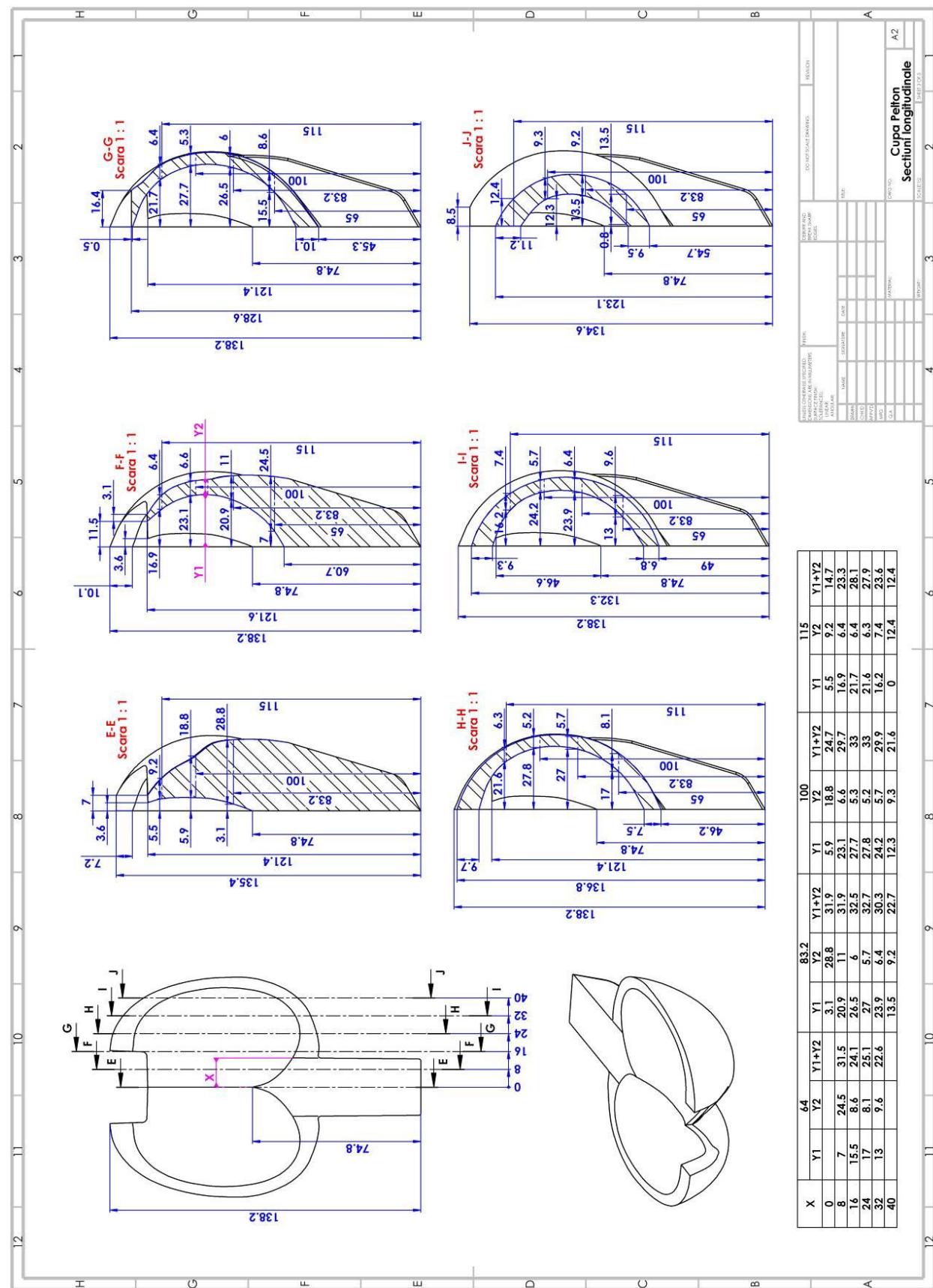


Fig. 6.47 Desenul de execuție al cupei Pelton – Secțiuni longitudinale

6.10 Comparația triangularizării norului de puncte cu cupa reconstituită

Figura 6.48 prezintă, sub formă tabelară și a hărții de culori, comparația cupei scanate triangularizate cu cea reconstituită ca geometrie solidă în SolidWorks. Cele două geometrii au fost importate în aplicația GOM Inspect; cupele s-au aliniat pe baza unui algoritm intern al aplicației (*automatic best-fit alignment*), astfel încât geometria cupei reconstituite se suprapune cu abateri minime față de geometria cupei de referință. Din tabelul atașat raportului GOM Inspect, se observă că cele mai mari erori sunt în zona vârfului muchiei de intrare $-1,87 \div +1.09$ mm, în rest valorile sunt încadrate în domeniul $\pm 0,28$ mm.

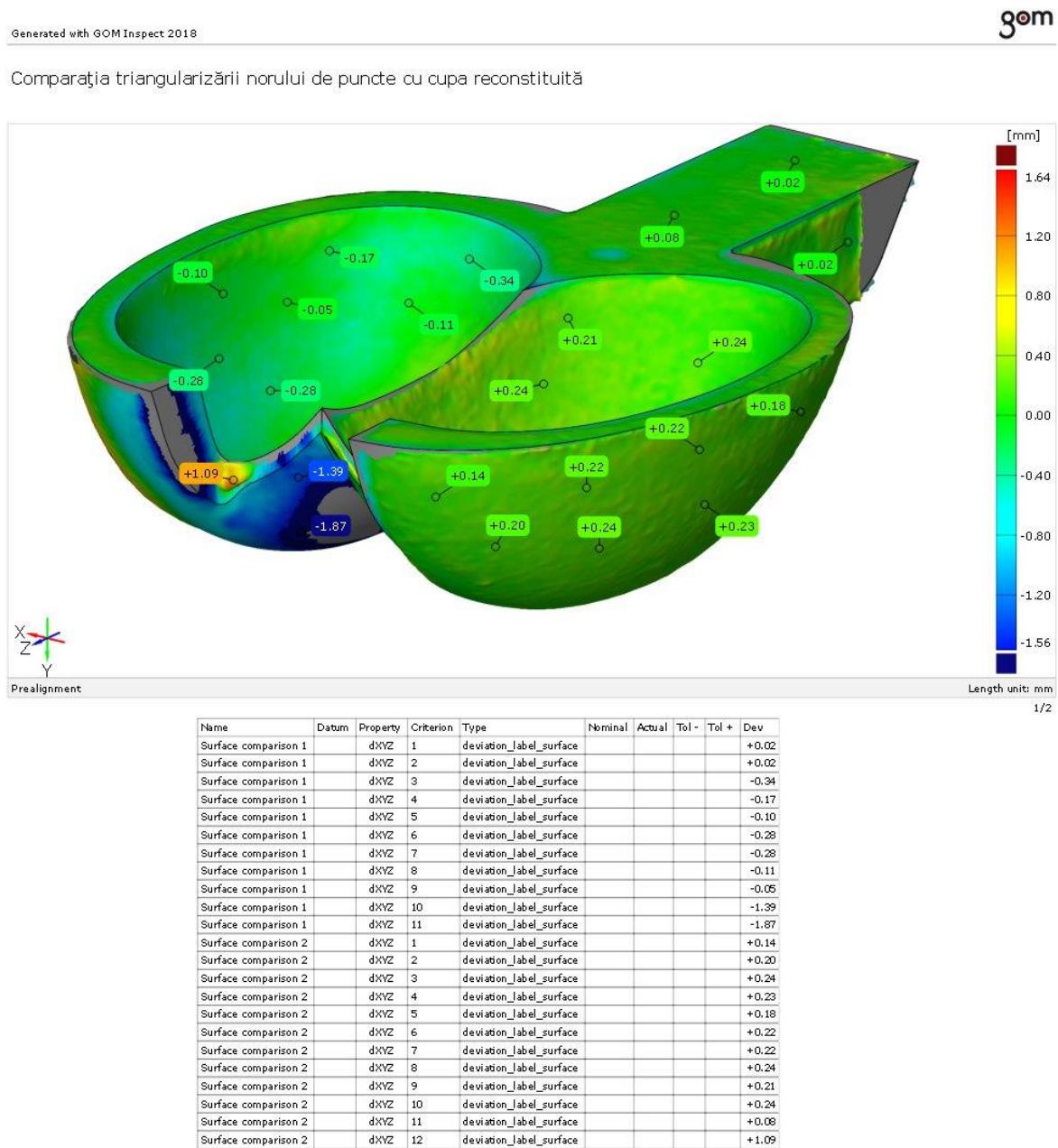


Fig. 6.48 Comparația triangularizării norului de puncte cu cupa reconstituită

6.11 Comparație măsurători ale cupei model Pelton cu cupa reconstituită în SolidWorks

Pentru a verifica acuratețea reconstituirii cupei Pelton s-a procedat la măsurarea acesteia pe mașina cu comandă numerică în 5 axe DMF 180 DECKEL MAHO, [figura 6.24](#). Verificările s-au efectuat numai pe partea superioară a cupei în 22 de puncte de măsură, [figura 6.49](#). Cupa a fost fixată în menghina mașinii plasată cu planul superior în plan orizontal, [figura 6.50](#). Deoarece la capătul palpatorului de măsură este plasată o sferă de rază 1,963 mm, au fost alese puncte de măsură care nu sunt influențate de raza palpatorului, adică pe zonele de fund sau plane ale cupei.

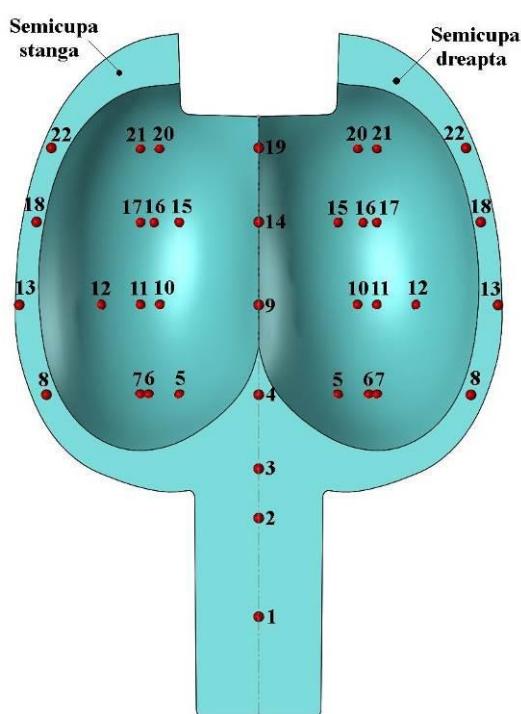


Fig. 6.49 Puncte de măsură a cupei Pelton

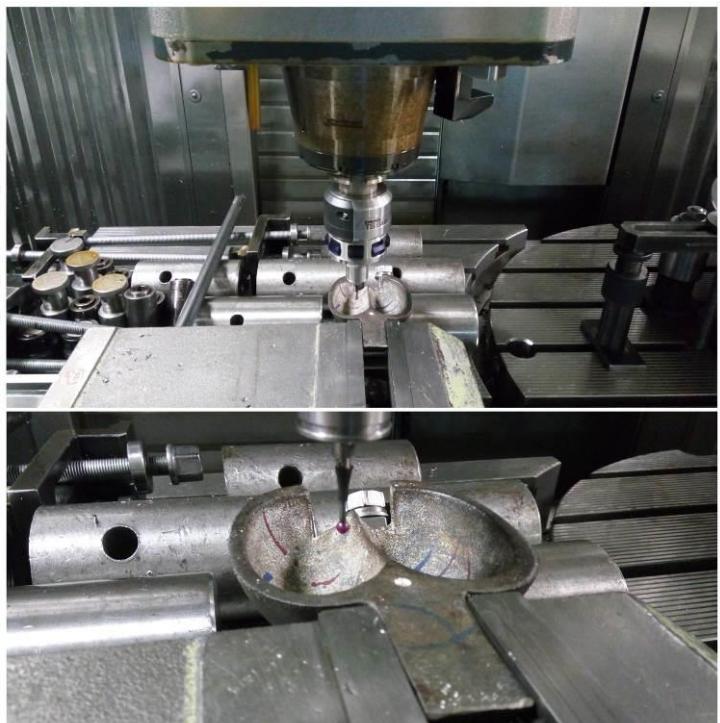


Fig. 6.50 Fixarea cupei Pelton în menghina mașinii CNC

Rezultatele sunt centralizate în [tabelul 6.14](#). Semnificația mărimilor din tabel este detaliată în [figura 6.46](#), care prezintă secțiuni transversale prin cupa Pelton. Pentru ușurință procesului de măsurare punctele au fost alese în planele de intersecția A-A, B-B, C-C, D-D, definite în [figura 6.46](#), figură unde valorile măsurate pe geometria solidă generată în SolidWorks sunt prezentate tabelar. Pentru unele puncte din acest tabel s-au măsurat cotele Y1 pe cupa reală și s-au comparat cu cele din SolidWorks. Măsurătorile s-au efectuat pe ambele semicupe (stânga, dreapta), iar coloanele Δ_{stanga} și $\Delta_{dreapta}$ din [tabelul 6.14](#) prezintă abaterile diferență dintre cotele din SolidWorks și cele măsurate pe cupa reală. Pentru cele 22 puncte măsurate, exceptând trei puncte, marcate cu roșu boldat în [tabelul 6.14](#), restul abaterilor se încadrează în domeniul $\pm 0,4$ mm. Aceste abateri

însumează erorile de scanare și fotogrametrie, de reconstituire a geometriei în SolidWorks, erorile de aliniere a paletei în menajina mașinii și erorile de măsură ale mașinii.

Tabel 6.14 Rezultate măsurători pe cupa model Pelton

ID Punct de masură	Secțiune figura 4.10	Cota secțiunii figura 4.10	X figura 4.10	Y1 SolidWorks figura 4.10	Y1 măsurat Semicupa stanga	Y1 măsurat Semicupa dreapta	Δ_{stanga}	$\Delta_{dreapta}$	Figura
1	-	20	0	0	0.04		-0.04		
2	-	40	0	0	0.005		-0.005		
3	-	50	0	0	0.077		-0.077		
4	A-A	65	0	0	0.007		-0.007		
5	A-A	65	16	15.5	15.452	15.793	-0.048	0.293	6.51
6	A-A	65	22.3	17.2	16.847	17.668	-0.353	0.468	
7	A-A	65	24	17	16.884	17.395	-0.116	0.395	
8	A-A	65	43	0	0.157	0.073	0.157	0.073	
9	B-B	83.2	0	3.1	3.364		-0.264		
10	B-B	83.2	20	27.2	27.274	27.424	0.074	0.224	
11	B-B	83.2	24	27	27.09	27.252	0.09	0.252	6.52
12	B-B	83.2	32	23.9	24.279	23.683	0.379	-0.217	
13	B-B	83.2	48.5	0	0.188	0.112	0.188	0.112	
14	C-C	100	0	5.9	5.829		0.071		
15	C-C	100	16	27.7	27.636	27.495	-0.064	-0.205	
16	C-C	100	21.2	28.2	28.392	28.012	0.192	-0.188	6.53
17	C-C	100	24	27.8	28.12	27.577	0.32	-0.223	
18	C-C	100	45	0	-0.108	0.157	-0.108	0.157	
19	D-D	115	0	5.5	5.733		-0.233		
20	D-D	115	20.1	22.1	21.465	21.767	-0.635	-0.333	6.54
21	D-D	115	24	21.6	20.947	21.195	-0.653	-0.405	
22	D-D	115	42	0	0.239	-0.003	0.239	-0.003	

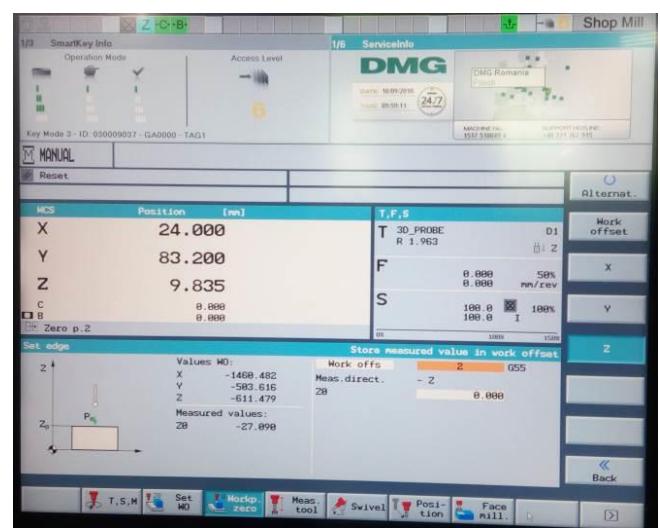
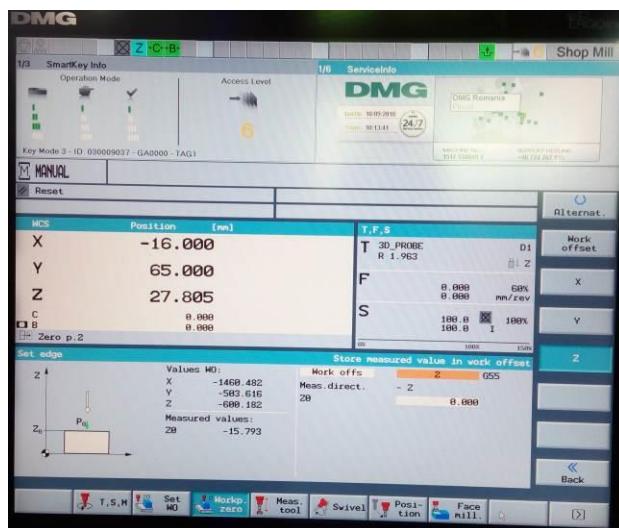


Fig. 6.51 Panou de afișare ptr. punct de măsură 5

Fig. 6.52 Panou de afișare ptr. punct de măsură 11

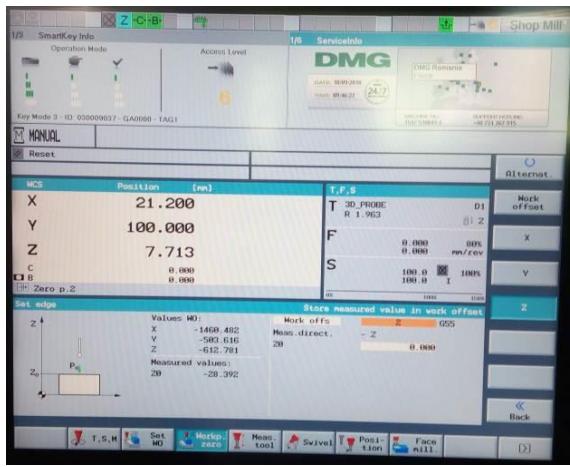


Fig. 6.53 Panou de afişare ptr. punct de măsură 16



Fig. 6.54 Panou de afişare ptr. punct de măsură 20

6.12 Scanarea laser a paletei axiale și comparația cu paleta scanată prin fotogrametrie

Paleta axială din & 6.1 a fost scanată prin fotogrametrie. În acest subcapitol aceeași paletă axială a fost scanată prin tehnologie laser, utilizând scannerul Creaform HandySCAN 700 [79]. Inițial a fost scanat extradosul paletei, figura 6.55, urmat de scanarea intradosului, figura 6.56. Prin aplicația VXelements [70] s-a realizat alinierea norilor de puncte ai extradosului respectiv a intradosului paletei axiale, folosind 3 puncte corespondente de pe extrados și intrados, figura 6.57. Paleta scanată laser este prezentată în figura 6.58, norul de puncte fiind format din 176.820 puncte. Din aplicația VXelements paleta a fost salvată într-un fișier de tip “stl”.

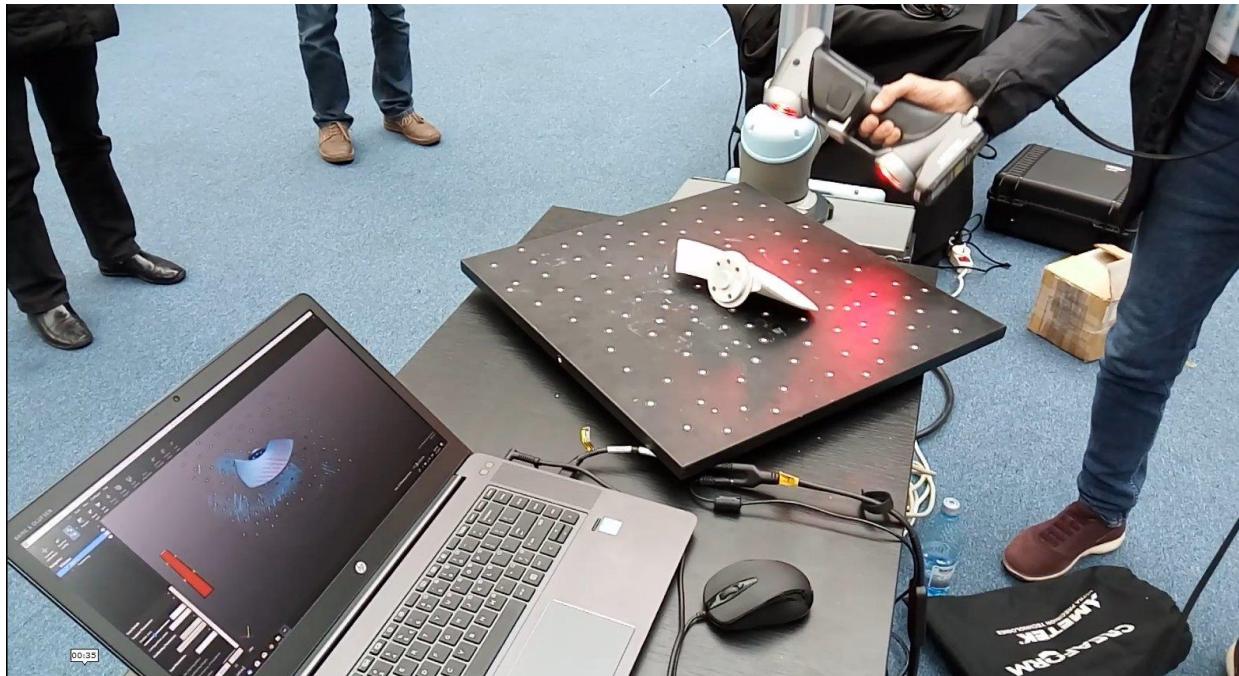


Fig. 6.55 Scanare laser a extradosului paletei axiale cu scannerul Creaform HandySCAN 700



Fig. 6.56 Scanare laser a intradosului paletei axiale cu scannerul Creaform HandySCAN 700

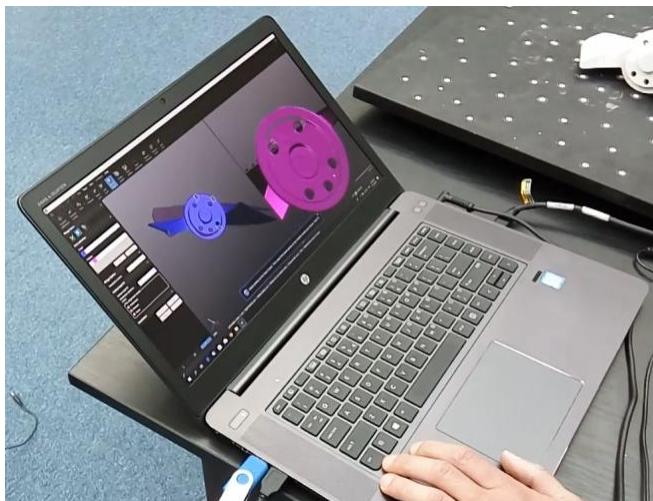


Fig. 6.57 Aliniere extrados și intrados în aplicația VXelements



Fig. 6.58 Paleta axială reconstituită în aplicația VXelements

Comparația paletei axiale scanată prin fotogrametrie și cea scanată prin tehnologie laser s-a realizat în aplicația GOM Inspect [84]. Comparația s-a realizat la nivelul norilor de puncte (*point cloud*) generate prin cele două tehnologii. Cele două palete s-au aliniat pe baza unui algoritm intern al aplicației GOM Inspect (*automatic best-fit alignment*), astfel încât geometria acestora să se suprapună cu abateri minime -0.1332 mm, figura 6.59. Tabelul 6.15 și figurile 6.60 ÷ 6.65 prezintă, tabelar și sub forma hărții de culori, comparația paletei axiale scanate cu laser respectiv prin fotogrametrie. După cum se observă din tabel abaterile sunt cuprinse între -0,26 ÷ +0,03 mm.

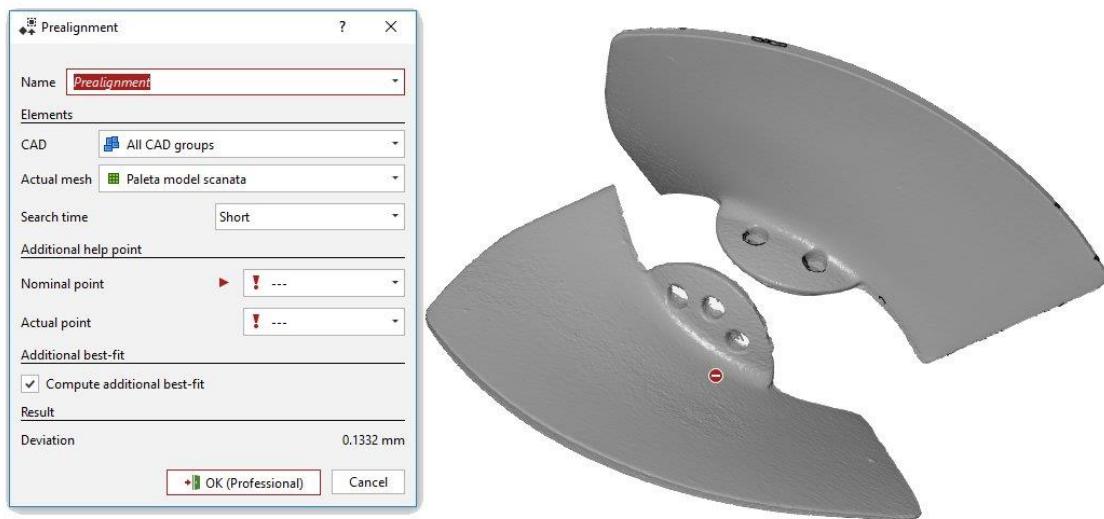


Fig. 6.59 Aliniere palete axiale în aplicația GOM Inspect



Fig. 6.60 Comparatie pe extradosul paletelor axiale în aplicația GOM Inspect

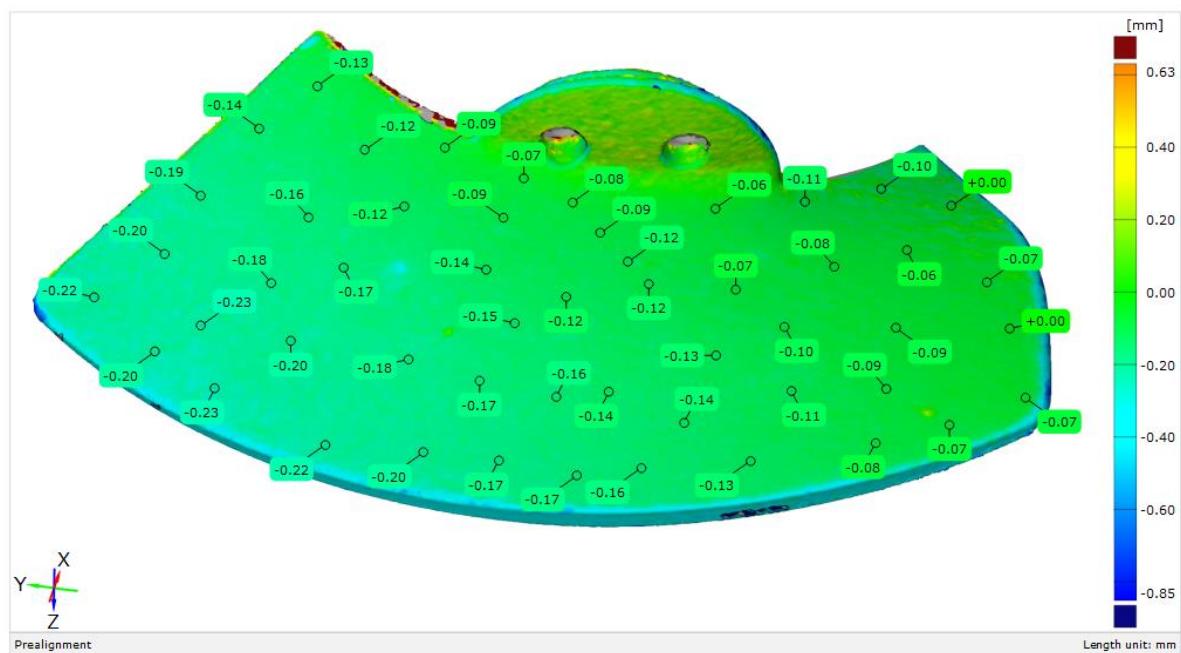


Fig. 6.61 Comparație pe intradosul paletelor axiale în aplicația GOM Inspect

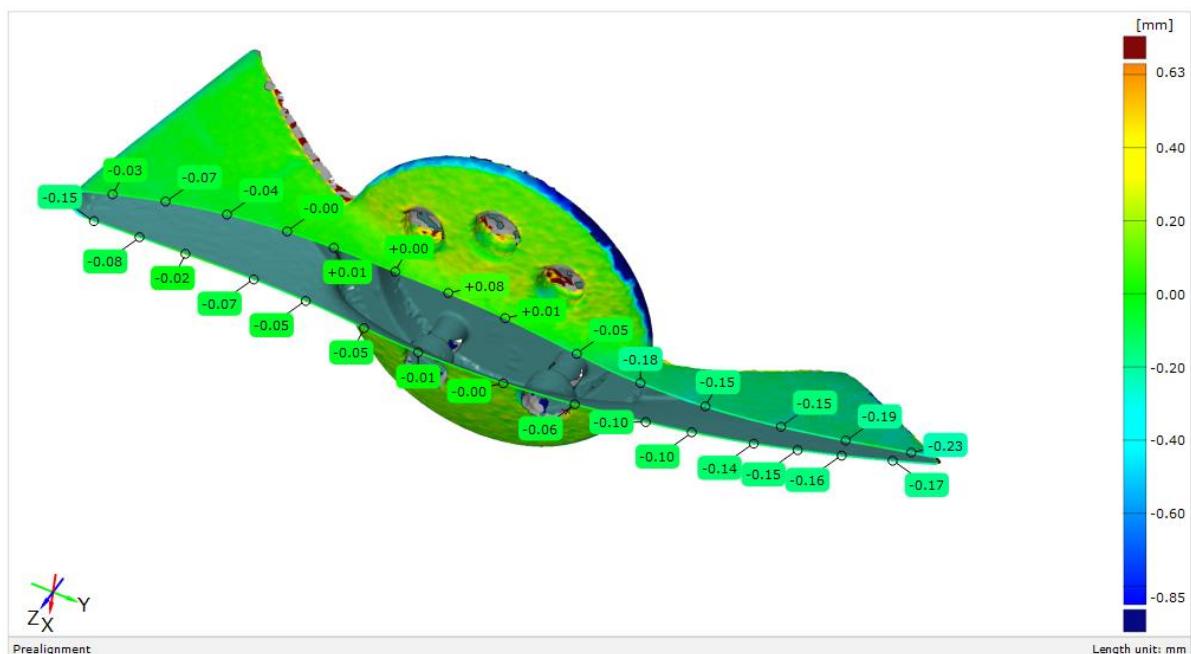


Fig. 6.62 Comparație profile la planul Z=20 mm

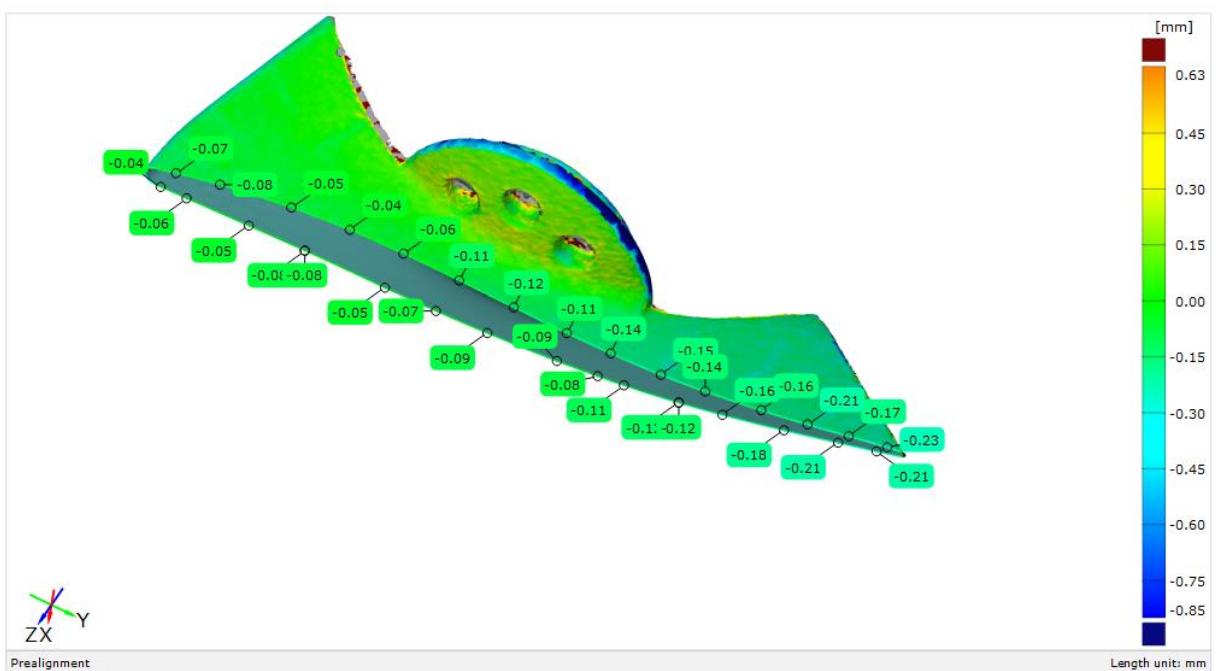


Fig. 6.63 Comparație profile la planul $Z=30\text{ mm}$

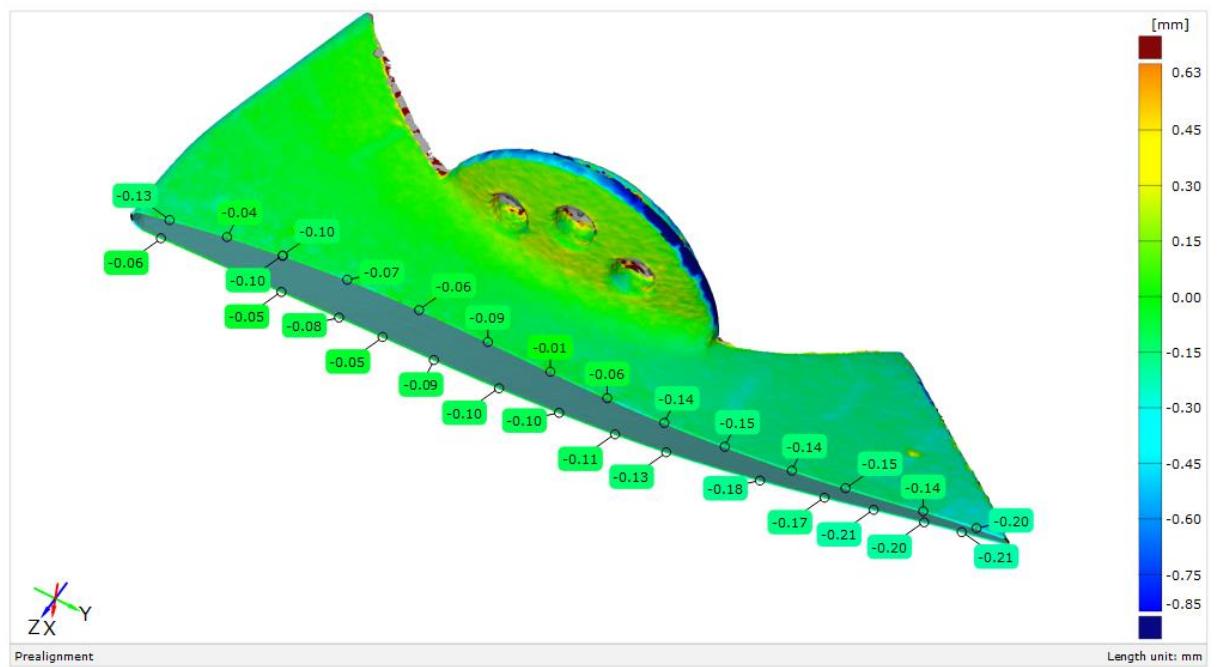


Fig. 6.64 Comparație profile la planul $Z=40\text{ mm}$

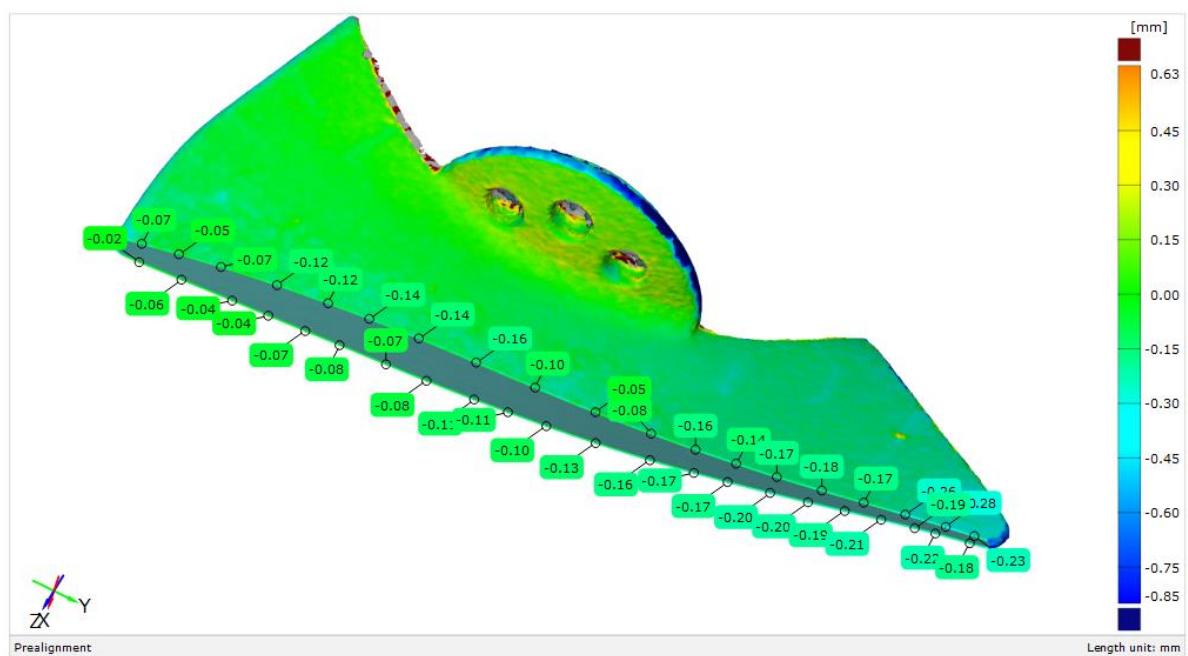


Fig. 6.65 Comparație profile la planul Z=50 mm

Tabel 6.15 Abateri între paleta axială scanată laser și prin fotogrametrie

Intrados			Extrados		
Element	Property	Dev	Element	Property	Dev
Surface comparison 2.4	dXYZ	0	Surface comparison 1.1	dXYZ	-0.05
Surface comparison 2.3	dXYZ	0	Surface comparison 1.2	dXYZ	-0.1
Surface comparison 2.2	dXYZ	0.03	Surface comparison 1.3	dXYZ	-0.14
Surface comparison 2.1	dXYZ	0.03	Surface comparison 1.4	dXYZ	-0.12
Surface comparison 1.84	dXYZ	-0.07	Surface comparison 1.5	dXYZ	-0.13
Surface comparison 1.83	dXYZ	-0.07	Surface comparison 1.6	dXYZ	-0.08
Surface comparison 1.82	dXYZ	-0.07	Surface comparison 1.7	dXYZ	-0.06
Surface comparison 1.81	dXYZ	-0.08	Surface comparison 1.8	dXYZ	-0.07
Surface comparison 1.80	dXYZ	-0.09	Surface comparison 1.9	dXYZ	-0.11
Surface comparison 1.79	dXYZ	-0.09	Surface comparison 1.10	dXYZ	-0.08
Surface comparison 1.78	dXYZ	-0.06	Surface comparison 1.11	dXYZ	-0.16
Surface comparison 1.77	dXYZ	-0.1	Surface comparison 1.12	dXYZ	-0.17
Surface comparison 1.76	dXYZ	-0.11	Surface comparison 1.13	dXYZ	-0.1
Surface comparison 1.75	dXYZ	-0.08	Surface comparison 1.14	dXYZ	-0.06
Surface comparison 1.74	dXYZ	-0.1	Surface comparison 1.15	dXYZ	-0.02
Surface comparison 1.73	dXYZ	-0.11	Surface comparison 1.16	dXYZ	-0.12
Surface comparison 1.72	dXYZ	-0.13	Surface comparison 1.17	dXYZ	-0.24
Surface comparison 1.71	dXYZ	-0.16	Surface comparison 1.18	dXYZ	-0.16
Surface comparison 1.70	dXYZ	-0.14	Surface comparison 1.19	dXYZ	-0.21
Surface comparison 1.69	dXYZ	-0.13	Surface comparison 1.20	dXYZ	-0.21
Surface comparison 1.68	dXYZ	-0.07	Surface comparison 1.21	dXYZ	-0.1

Tabel 6.15 Abateri între paleta axială scanată laser și prin fotogrametrie

Intrados			Extrados		
Element	Property	Dev	Element	Property	Dev
Surface comparison 1.67	dXYZ	-0.06	Surface comparison 1.22	dXYZ	-0.16
Surface comparison 1.66	dXYZ	-0.12	Surface comparison 1.23	dXYZ	-0.15
Surface comparison 1.65	dXYZ	-0.12	Surface comparison 1.24	dXYZ	-0.17
Surface comparison 1.64	dXYZ	-0.14	Surface comparison 1.25	dXYZ	-0.18
Surface comparison 1.63	dXYZ	-0.17	Surface comparison 1.26	dXYZ	-0.23
Surface comparison 1.62	dXYZ	-0.09	Surface comparison 1.27	dXYZ	-0.16
Surface comparison 1.61	dXYZ	-0.12	Surface comparison 1.28	dXYZ	-0.22
Surface comparison 1.60	dXYZ	-0.16	Surface comparison 1.29	dXYZ	-0.26
Surface comparison 1.59	dXYZ	-0.17	Surface comparison 1.30	dXYZ	-0.25
Surface comparison 1.58	dXYZ	-0.08	Surface comparison 1.31	dXYZ	-0.19
Surface comparison 1.57	dXYZ	-0.15	Surface comparison 1.32	dXYZ	-0.17
Surface comparison 1.56	dXYZ	-0.17	Surface comparison 1.33	dXYZ	-0.2
Surface comparison 1.55	dXYZ	-0.2	Surface comparison 1.34	dXYZ	-0.19
Surface comparison 1.54	dXYZ	-0.07	Surface comparison 1.35	dXYZ	-0.13
Surface comparison 1.53	dXYZ	-0.09	Surface comparison 1.36	dXYZ	-0.14
Surface comparison 1.52	dXYZ	-0.14	Surface comparison 1.37	dXYZ	-0.19
Surface comparison 1.51	dXYZ	-0.18	Surface comparison 1.38	dXYZ	-0.2
Surface comparison 1.50	dXYZ	-0.22	Surface comparison 1.39	dXYZ	-0.22
Surface comparison 1.49	dXYZ	-0.23	Surface comparison 1.40	dXYZ	-0.2
Surface comparison 1.48	dXYZ	-0.23	Surface comparison 1.41	dXYZ	-0.18
Surface comparison 1.47	dXYZ	-0.2	Surface comparison 1.42	dXYZ	-0.16
Surface comparison 1.46	dXYZ	-0.17	Surface comparison 1.43	dXYZ	-0.12
Surface comparison 1.45	dXYZ	-0.12	Surface comparison 1.44	dXYZ	-0.09
Surface comparison 1.44	dXYZ	-0.09	Surface comparison 1.45	dXYZ	-0.12
Surface comparison 1.43	dXYZ	-0.12	Surface comparison 1.46	dXYZ	-0.17
Surface comparison 1.42	dXYZ	-0.16	Surface comparison 1.47	dXYZ	-0.2
Surface comparison 1.41	dXYZ	-0.18	Surface comparison 1.48	dXYZ	-0.23
Surface comparison 1.40	dXYZ	-0.2	Surface comparison 1.49	dXYZ	-0.23
Surface comparison 1.39	dXYZ	-0.22	Surface comparison 1.50	dXYZ	-0.22
Surface comparison 1.38	dXYZ	-0.2	Surface comparison 1.51	dXYZ	-0.18
Surface comparison 1.37	dXYZ	-0.19	Surface comparison 1.52	dXYZ	-0.14
Surface comparison 1.36	dXYZ	-0.14	Surface comparison 1.53	dXYZ	-0.09
Surface comparison 1.35	dXYZ	-0.13	Surface comparison 1.54	dXYZ	-0.07
Surface comparison 1.34	dXYZ	-0.19	Surface comparison 1.55	dXYZ	-0.2
Surface comparison 1.33	dXYZ	-0.2	Surface comparison 1.56	dXYZ	-0.17
Surface comparison 1.32	dXYZ	-0.17	Surface comparison 1.57	dXYZ	-0.15
Surface comparison 1.31	dXYZ	-0.19	Surface comparison 1.58	dXYZ	-0.08
Surface comparison 1.30	dXYZ	-0.25	Surface comparison 1.59	dXYZ	-0.17
Surface comparison 1.29	dXYZ	-0.26	Surface comparison 1.60	dXYZ	-0.16
Surface comparison 1.28	dXYZ	-0.22	Surface comparison 1.61	dXYZ	-0.12
Surface comparison 1.27	dXYZ	-0.16	Surface comparison 1.62	dXYZ	-0.09

Tabel 6.15 Abateri între paleta axială scanată laser și prin fotogrametrie

Intrados			Extrados		
Element	Property	Dev	Element	Property	Dev
Surface comparison 1.26	dXYZ	-0.23	Surface comparison 1.63	dXYZ	-0.17
Surface comparison 1.25	dXYZ	-0.18	Surface comparison 1.64	dXYZ	-0.14
Surface comparison 1.24	dXYZ	-0.17	Surface comparison 1.65	dXYZ	-0.12
Surface comparison 1.23	dXYZ	-0.15	Surface comparison 1.66	dXYZ	-0.12
Surface comparison 1.22	dXYZ	-0.16	Surface comparison 1.67	dXYZ	-0.06
Surface comparison 1.21	dXYZ	-0.1	Surface comparison 1.68	dXYZ	-0.07
Surface comparison 1.20	dXYZ	-0.21	Surface comparison 1.69	dXYZ	-0.13
Surface comparison 1.19	dXYZ	-0.21	Surface comparison 1.70	dXYZ	-0.14
Surface comparison 1.18	dXYZ	-0.16	Surface comparison 1.71	dXYZ	-0.16
Surface comparison 1.17	dXYZ	-0.24	Surface comparison 1.72	dXYZ	-0.13
Surface comparison 1.16	dXYZ	-0.12	Surface comparison 1.73	dXYZ	-0.11
Surface comparison 1.15	dXYZ	-0.02	Surface comparison 1.74	dXYZ	-0.1
Surface comparison 1.14	dXYZ	-0.06	Surface comparison 1.75	dXYZ	-0.08
Surface comparison 1.13	dXYZ	-0.1	Surface comparison 1.76	dXYZ	-0.11
Surface comparison 1.12	dXYZ	-0.17	Surface comparison 1.77	dXYZ	-0.1
Surface comparison 1.11	dXYZ	-0.16	Surface comparison 1.78	dXYZ	-0.06
Surface comparison 1.10	dXYZ	-0.08	Surface comparison 1.79	dXYZ	-0.09
Surface comparison 1.9	dXYZ	-0.11	Surface comparison 1.80	dXYZ	-0.09
Surface comparison 1.8	dXYZ	-0.07	Surface comparison 1.81	dXYZ	-0.08
Surface comparison 1.7	dXYZ	-0.06	Surface comparison 1.82	dXYZ	-0.07
Surface comparison 1.6	dXYZ	-0.08	Surface comparison 1.83	dXYZ	-0.07
Surface comparison 1.5	dXYZ	-0.13	Surface comparison 1.84	dXYZ	-0.07
Surface comparison 1.4	dXYZ	-0.12	Surface comparison 2.1	dXYZ	0.03
Surface comparison 1.3	dXYZ	-0.14	Surface comparison 2.2	dXYZ	0.03
Surface comparison 1.2	dXYZ	-0.1	Surface comparison 2.3	dXYZ	0
Surface comparison 1.1	dXYZ	-0.05	Surface comparison 2.4	dXYZ	0
Abatere minimă		-0.26	Abatere minimă		-0.26
Abatere maximă		0.03	Abatere maximă		0.03
Suma abateri		-11.65	Suma abateri		-11.65
Media abateri		-0.1324	Media abateri		-0.1324

6.13 Scanarea laser a cupei Pelton și comparația cu cupa scanată prin fotogrametrie

Cupa Pelton din & 6.7 a fost scanată prin fotogrametrie. În acest subcapitol aceeași cupă a fost scanată prin tehnologie laser, utilizând scannerul Creaform HandySCAN 700. Inițial a fost scanată partea superioară, figura 6.66, urmat de scanarea părții inferioare, figura 6.67. Prin aplicația VXelements s-a realizat alinierea norilor de puncte ai celor două părți, folosind 3 puncte corespondente, figura 6.68. Cupa scanată laser este prezentată în figura 6.69, norul de puncte fiind format din 277.248 puncte. Din aplicația VXelements cupa a fost salvată într-un fișier de tip “stl”.

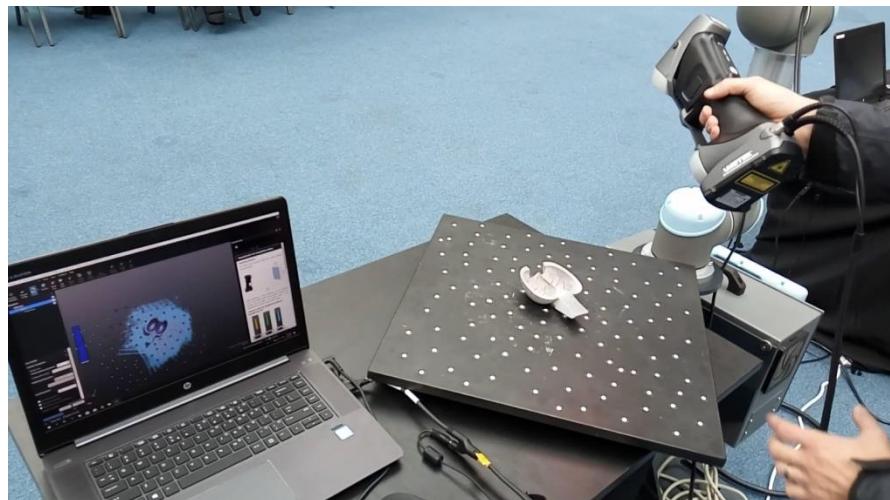


Fig. 6.66 Scanare laser a părții superioare a cupei Pelton cu scannerul Creaform HandySCAN 700

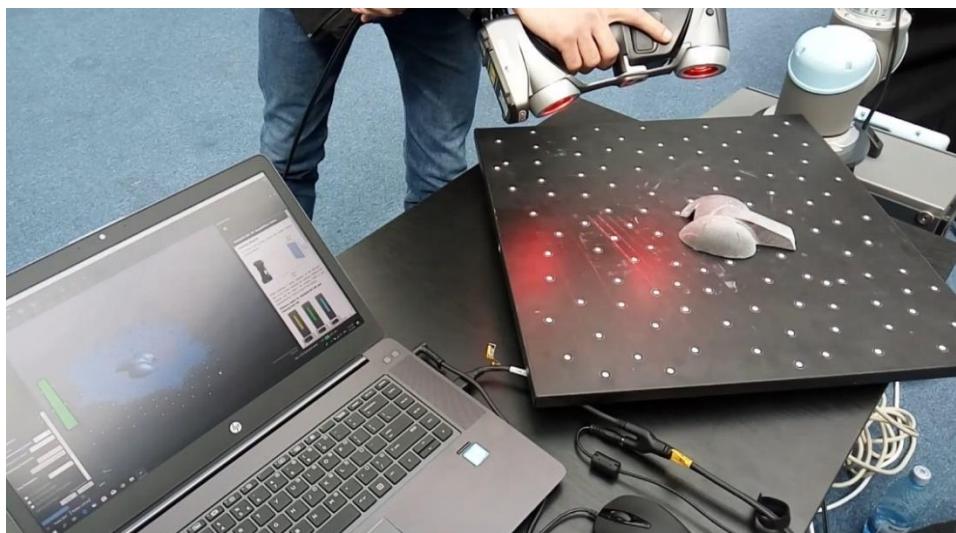


Fig. 6.67 Scanare laser a a părții inferioare a cupei Pelton cu scannerul Creaform HandySCAN 700

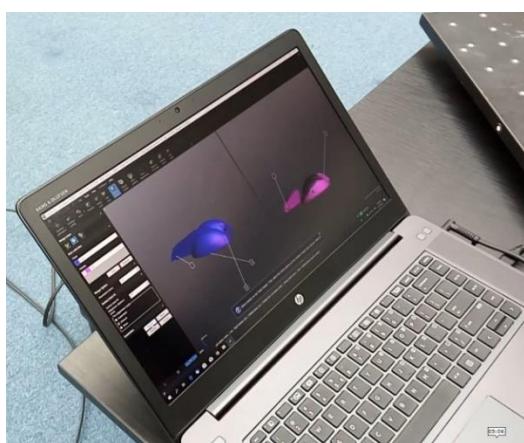


Fig. 6.68 Aliniere parte superioară și inferioară în aplicația VXelements



Fig. 6.69 Cupa Pelton reconstituită în aplicația VXelements

Comparația între cupa Pelton scanată prin fotogrametrie și cea scanată prin tehnologie laser s-a realizat în aplicația GOM Inspect [84]. Comparația s-a realizat la nivelul norilor de puncte (*point cloud*) generate prin cele două tehnologii. Cele două cupe s-au aliniat pe baza unui algoritm intern al aplicației GOM Inspect (*automatic best-fit alignment*), astfel încât geometria acestora să se suprapună cu abateri minime +0.1279 mm, figura 6.70. Tabelul 6.16 și figurile 6.71 ÷ 6.76 prezintă, tabelar și sub forma hărții de culori, comparația cupei scanate cu laser respectiv prin fotogrametrie. Figura 6.77 prezintă secțiuni longitudinale prin cupa Pelton. După cum se observă din tabel abaterile sunt cuprinse între -0,37 ÷ +0,17 mm.

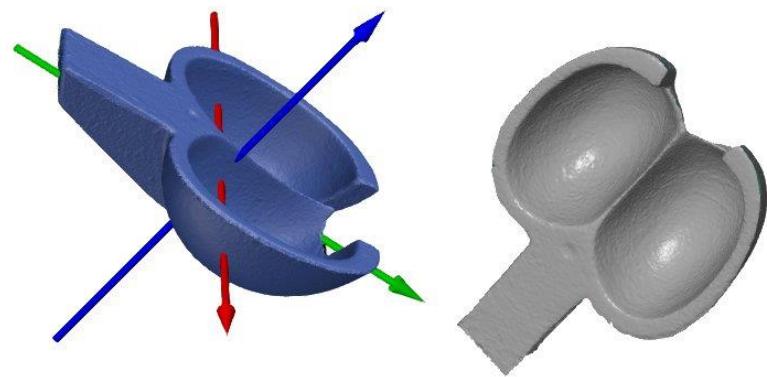
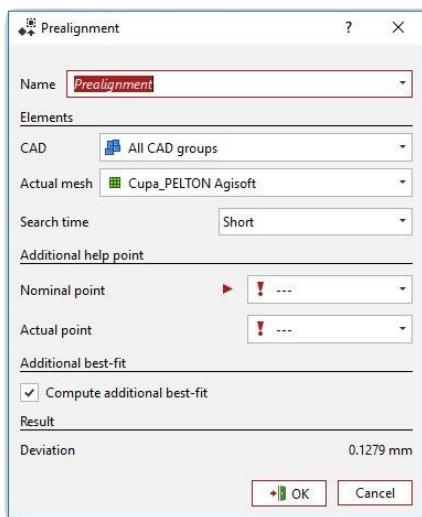


Fig. 6.70 Aliniere palate axiale în aplicația GOM Inspect

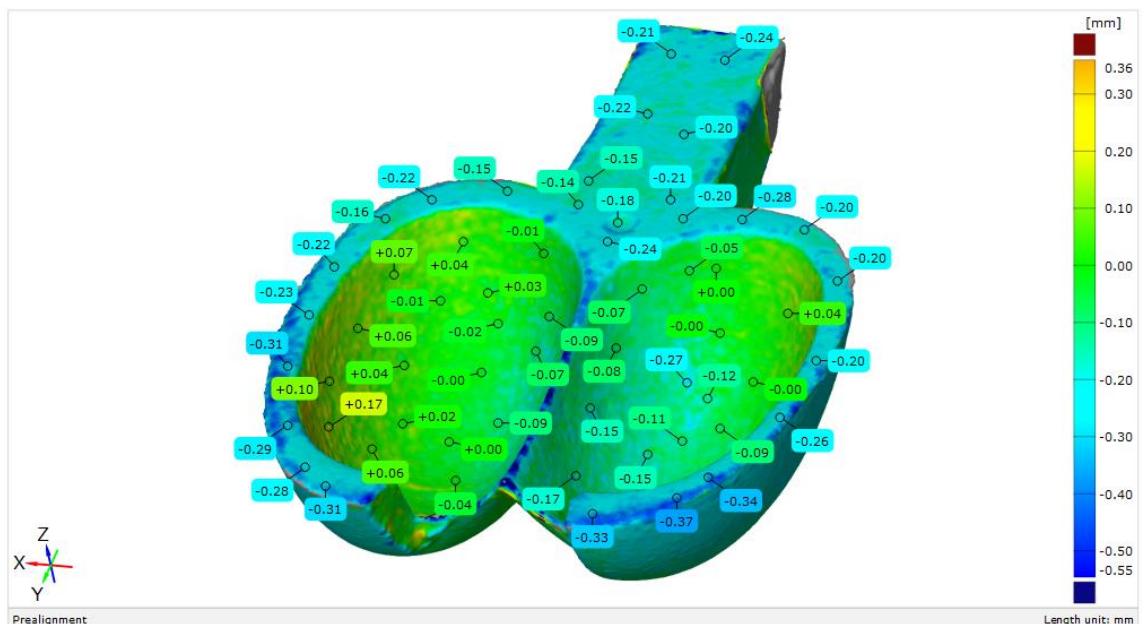


Fig. 6.71 Comparație pe partea superioară a cupei Pelton în aplicația GOM Inspect

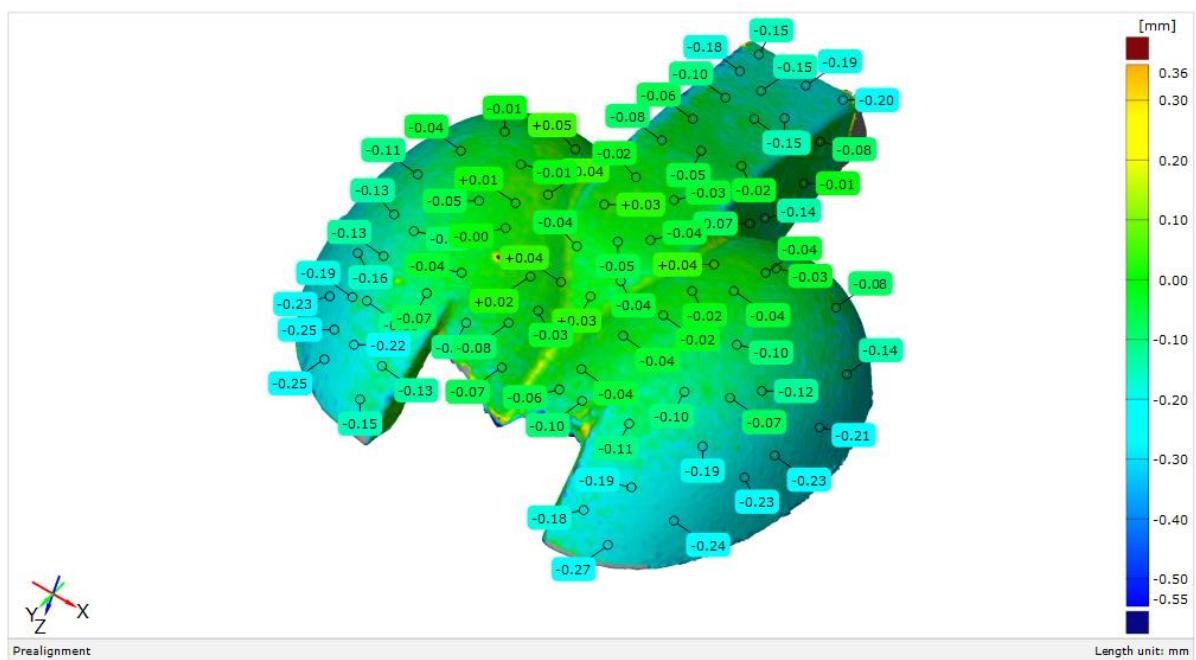


Fig. 6.72 Comparație pe partea inferioară a cupei Pelton în aplicația GOM Inspect

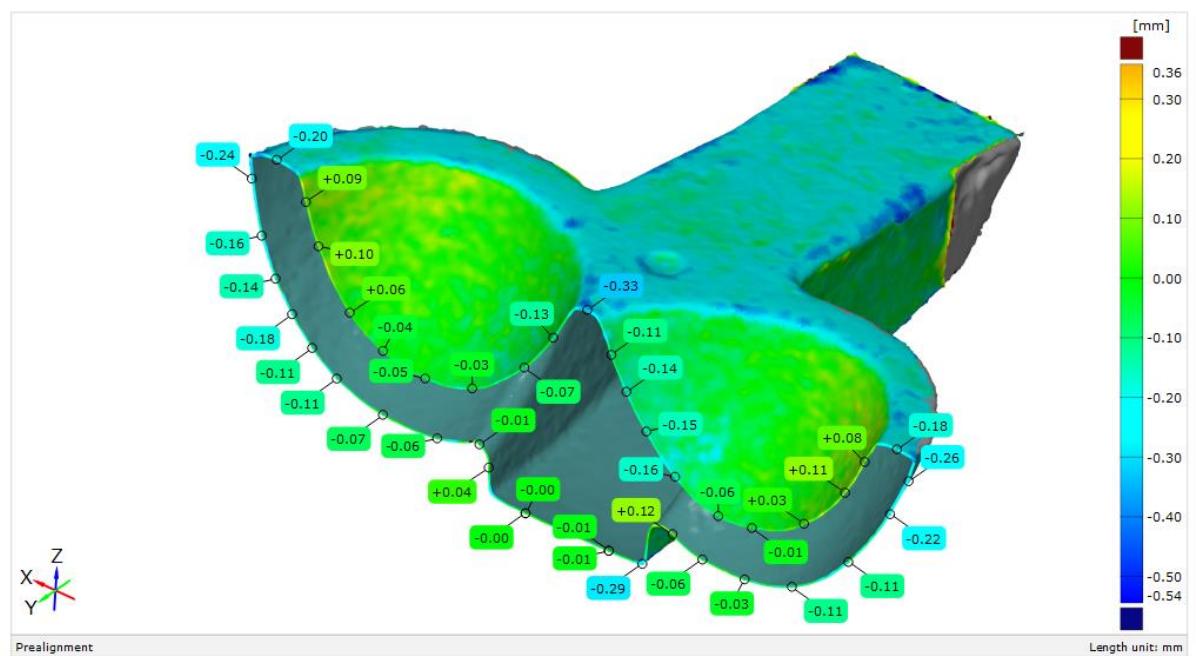


Fig. 6.73 Secțiune prin cupa Pelton cu planul $Y = -10$ mm

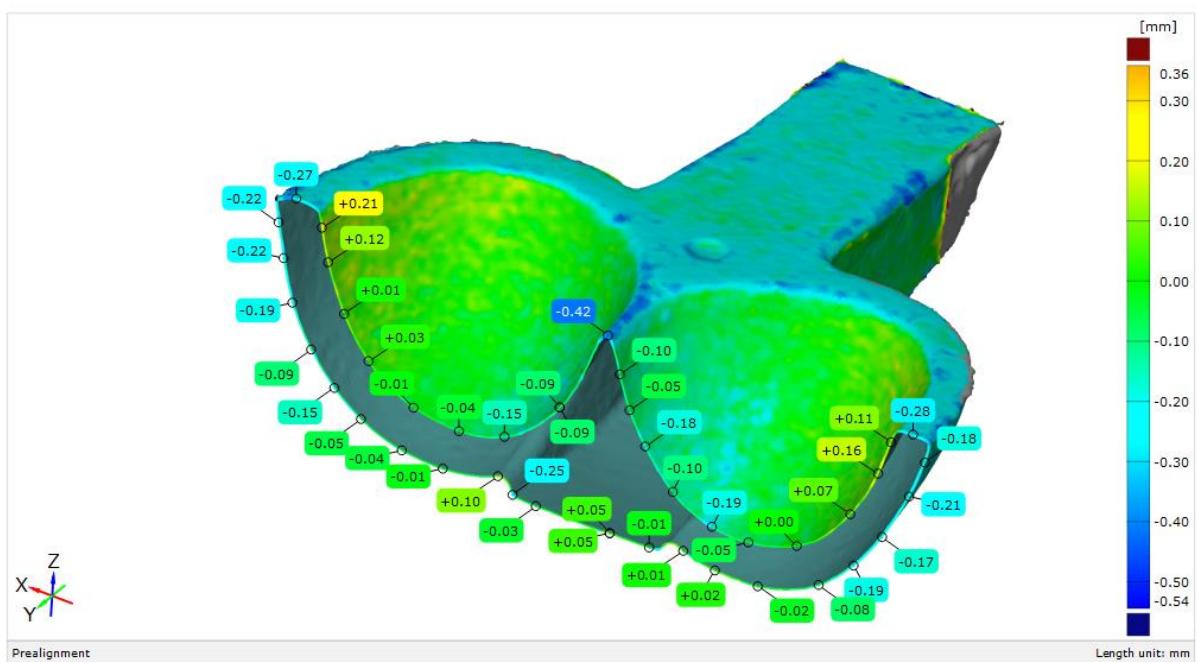


Fig. 6.74 Secțiune prin cupa Pelton cu planul $Y = 0 \text{ mm}$

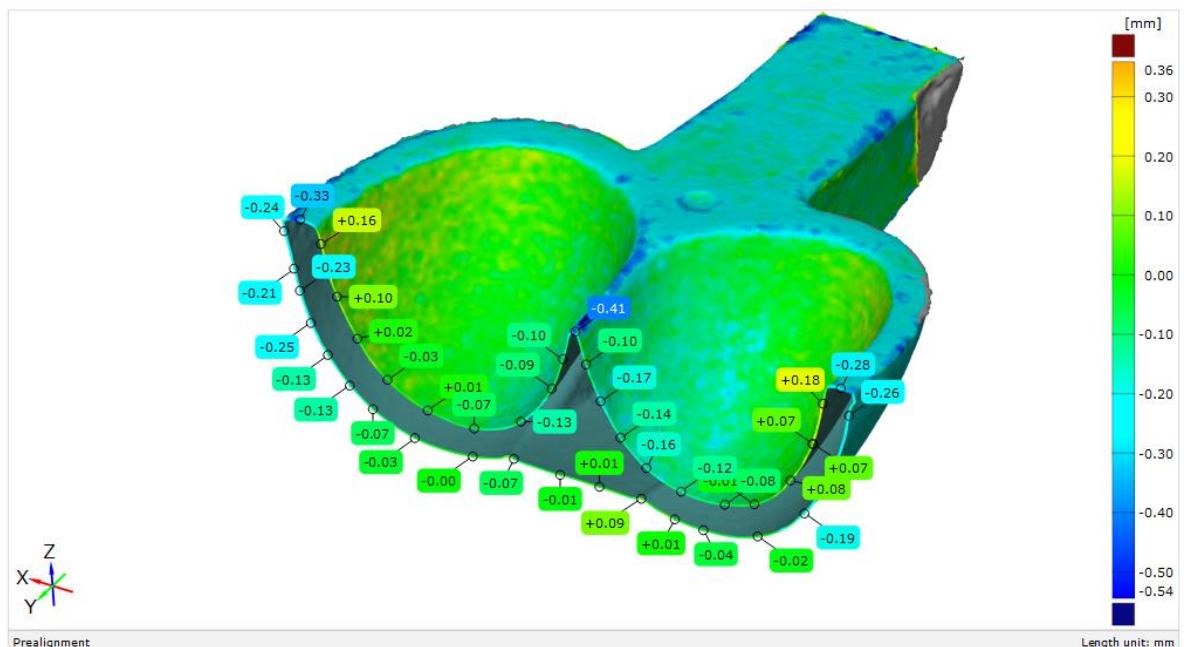


Fig. 6.75 Secțiune prin cupa Pelton cu planul $Y = +10 \text{ mm}$

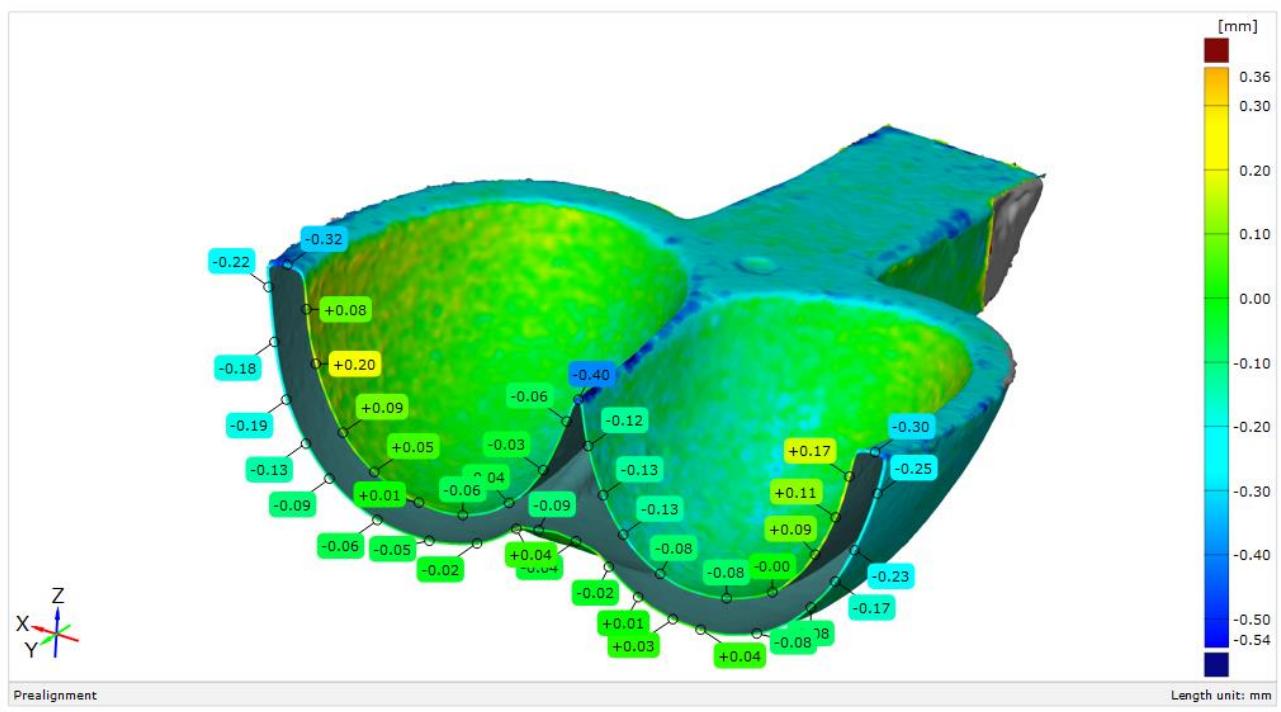


Fig. 6.76 Secțiune prin cupa Pelton cu planul Y = +20 mm

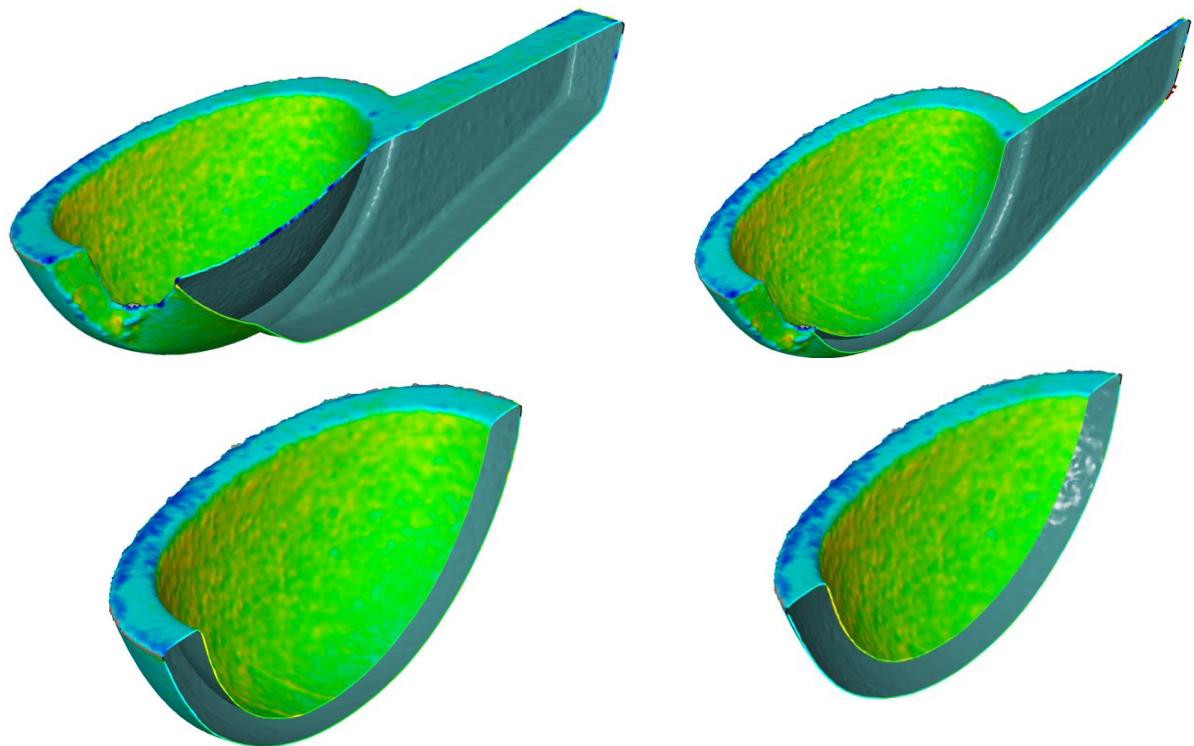


Fig. 6.77 Secțiuni longitudinale prin cupa Pelton cu planele X=0, 10, 20 ,30 mm

Tabel 6.16 Abateri între cupa Pelton scanată laser și prin fotogrametrie

Parte superioară			Parte inferioară		
Element	Property	Dev	Element	Property	Dev
Surface comparison 2.13	dXYZ	0	Surface comparison 2.21	dXYZ	0.04
Surface comparison 2.12	dXYZ	0	Surface comparison 2.20	dXYZ	0.03
Surface comparison 2.11	dXYZ	0.04	Surface comparison 2.19	dXYZ	0.03
Surface comparison 2.10	dXYZ	0	Surface comparison 2.18	dXYZ	0.02
Surface comparison 2.9	dXYZ	0.06	Surface comparison 2.17	dXYZ	0.01
Surface comparison 2.8	dXYZ	0.02	Surface comparison 2.16	dXYZ	0.04
Surface comparison 2.7	dXYZ	0.04	Surface comparison 2.15	dXYZ	0.04
Surface comparison 2.6	dXYZ	0.03	Surface comparison 2.14	dXYZ	0.05
Surface comparison 2.5	dXYZ	0.04	Surface comparison 1.116	dXYZ	-0.12
Surface comparison 2.4	dXYZ	0.07	Surface comparison 1.115	dXYZ	-0.23
Surface comparison 2.3	dXYZ	0.06	Surface comparison 1.114	dXYZ	-0.07
Surface comparison 2.2	dXYZ	0.1	Surface comparison 1.113	dXYZ	-0.19
Surface comparison 2.1	dXYZ	0.17	Surface comparison 1.112	dXYZ	-0.19
Surface comparison 1.46	dXYZ	-0.31	Surface comparison 1.111	dXYZ	-0.18
Surface comparison 1.45	dXYZ	-0.18	Surface comparison 1.110	dXYZ	-0.27
Surface comparison 1.44	dXYZ	-0.24	Surface comparison 1.109	dXYZ	-0.24
Surface comparison 1.43	dXYZ	-0.2	Surface comparison 1.108	dXYZ	-0.23
Surface comparison 1.42	dXYZ	-0.28	Surface comparison 1.107	dXYZ	-0.21
Surface comparison 1.41	dXYZ	-0.2	Surface comparison 1.106	dXYZ	-0.14
Surface comparison 1.40	dXYZ	-0.2	Surface comparison 1.105	dXYZ	-0.08
Surface comparison 1.39	dXYZ	-0.2	Surface comparison 1.104	dXYZ	-0.04
Surface comparison 1.38	dXYZ	-0.26	Surface comparison 1.103	dXYZ	-0.1
Surface comparison 1.37	dXYZ	-0.34	Surface comparison 1.102	dXYZ	-0.1
Surface comparison 1.36	dXYZ	-0.37	Surface comparison 1.101	dXYZ	-0.11
Surface comparison 1.35	dXYZ	-0.33	Surface comparison 1.100	dXYZ	-0.1
Surface comparison 1.34	dXYZ	-0.28	Surface comparison 1.99	dXYZ	-0.06
Surface comparison 1.33	dXYZ	-0.29	Surface comparison 1.98	dXYZ	-0.04
Surface comparison 1.32	dXYZ	-0.31	Surface comparison 1.97	dXYZ	-0.04
Surface comparison 1.31	dXYZ	-0.23	Surface comparison 1.96	dXYZ	-0.02
Surface comparison 1.30	dXYZ	-0.22	Surface comparison 1.95	dXYZ	-0.02
Surface comparison 1.29	dXYZ	-0.16	Surface comparison 1.94	dXYZ	-0.04
Surface comparison 1.28	dXYZ	-0.22	Surface comparison 1.93	dXYZ	-0.07
Surface comparison 1.27	dXYZ	-0.15	Surface comparison 1.92	dXYZ	-0.08
Surface comparison 1.26	dXYZ	-0.14	Surface comparison 1.91	dXYZ	-0.01
Surface comparison 1.25	dXYZ	-0.24	Surface comparison 1.90	dXYZ	-0.14
Surface comparison 1.24	dXYZ	-0.21	Surface comparison 1.89	dXYZ	-0.03
Surface comparison 1.23	dXYZ	-0.22	Surface comparison 1.88	dXYZ	-0.14
Surface comparison 1.22	dXYZ	-0.2	Surface comparison 1.87	dXYZ	-0.15
Surface comparison 1.21	dXYZ	-0.21	Surface comparison 1.86	dXYZ	-0.15

Tabel 6.16 Abateri între cupa Pelton scanată laser și prin fotogrametrie

Parte superioară			Parte inferioară		
Element	Property	Dev	Element	Property	Dev
Surface comparison 1.20	dXYZ	-0.15	Surface comparison 1.85	dXYZ	-0.2
Surface comparison 1.19	dXYZ	-0.11	Surface comparison 1.84	dXYZ	-0.19
Surface comparison 1.18	dXYZ	-0.12	Surface comparison 1.83	dXYZ	-0.15
Surface comparison 1.17	dXYZ	-0.05	Surface comparison 1.82	dXYZ	-0.18
Surface comparison 1.16	dXYZ	-0.27	Surface comparison 1.81	dXYZ	-0.1
Surface comparison 1.15	dXYZ	-0.08	Surface comparison 1.80	dXYZ	-0.06
Surface comparison 1.14	dXYZ	-0.15	Surface comparison 1.79	dXYZ	-0.05
Surface comparison 1.13	dXYZ	-0.17	Surface comparison 1.78	dXYZ	-0.02
Surface comparison 1.12	dXYZ	-0.15	Surface comparison 1.77	dXYZ	-0.08
Surface comparison 1.11	dXYZ	-0.09	Surface comparison 1.76	dXYZ	-0.02
Surface comparison 1.10	dXYZ	0	Surface comparison 1.75	dXYZ	-0.03
Surface comparison 1.9	dXYZ	-0.07	Surface comparison 1.74	dXYZ	-0.05
Surface comparison 1.8	dXYZ	0	Surface comparison 1.73	dXYZ	-0.04
Surface comparison 1.7	dXYZ	-0.02	Surface comparison 1.72	dXYZ	-0.04
Surface comparison 1.6	dXYZ	-0.07	Surface comparison 1.71	dXYZ	-0.04
Surface comparison 1.5	dXYZ	-0.09	Surface comparison 1.70	dXYZ	-0.03
Surface comparison 1.4	dXYZ	-0.04	Surface comparison 1.69	dXYZ	-0.25
Surface comparison 1.3	dXYZ	-0.01	Surface comparison 1.68	dXYZ	-0.19
Surface comparison 1.2	dXYZ	-0.09	Surface comparison 1.67	dXYZ	-0.13
Surface comparison 1.1	dXYZ	-0.01	Surface comparison 1.66	dXYZ	-0.07
Abatere minimă		-0.37	Abatere minimă		-0.27
Abatere maximă		0.17	Abatere maximă		0.05
Suma abateri		-7.3	Suma abateri		-5.25
Media abateri		-0.1237	Media abateri		-0.0890

6.14 Concluzii

Acest capitol prezintă reconstituirea prin fotogrametrie și prin scanare laser a geometriei unui model de paletă axială respectiv a unui model de cupă Pelton.

Pentru paleta model axială a fost necesară netezirea profilelor, pentru a atenua erorile execuție și de scanare, în mod special cele din zona bordului de fugă, netezire care a fost efectuată prin aplicarea schemei cu 24 de ordonate. Din comparația triangularizării norului de puncte rezultat în urma scanării cu paleta reconstituită în SolidWorks a rezultat concluzia că cele mai mari erori au apărut în zona fusului paletei $-1.57 \div +1,73$ mm, în rest cele mai multe valori sunt încadrate în domeniul $\pm 0,1$ mm. Din măsurătorile efectuate a rezultat că abaterile, de pe extrados și intrados, dintre punctele generate în SolidWorks pe geometria paletei reconstituite și cele măsurate pe paleta reală, recalculate prin interpolare spline, după corectarea defazajului unghiular și de poziție linear, se încadrează în domeniul de abateri cuprins între minim -0,37405 respectiv maxim +0,476279 mm.

Pentru cupa model Pelton, parcurgând aceleași etape specifice ingineriei inverse, s-a obținut modelul tridimensional și desenul de execuție al acesteia. Din comparația triangularizării norului de puncte rezultat în urma scanării cu cupa reconstituită în SolidWorks a rezultat concluzia că cele mai mari erori sunt în zona vârfului muchiei de intrare $-1,87 \div +1,09$ mm, în rest valorile sunt încadrate în domeniul $\pm 0,28$ mm. Din măsurătorile efectuate pe ambele semicupe (stânga, dreapta), a rezultat concluzia că, pentru cele 22 puncte măsurate, abaterile diferență dintre cotele din SolidWorks și cele măsurate pe cupa reală, exceptând trei puncte, restul abaterilor se încadrează în domeniul $\pm 0,4$ mm. Aceste abateri însumează erorile de scanare și fotogrametrie, de reconstituire a geometriei în SolidWorks, erorile de aliniere a paletei în menghina mașinii și erorile de măsură ale mașinii.

Paleta axială și cupa Pelton au fost scanate prin fotogrametrie și prin tehnologie laser, utilizând scannerul Creaform HandySCAN 700. Din comparația norilor de puncte ai paletei axiale scanate laser, respectiv prin fotogrametrie au rezultat abateri cuprinse între $-0,26 \div +0,03$ mm. Din comparația norilor de puncte ai cupei Pelton scanate laser respectiv prin fotogrametrie au rezultat abateri cuprinse între $-0,37 \div +0,17$ mm.

Cap. 7 CONTRIBUȚII PERSONALE. DIRECTII VIITOARE DE CERCETARE. DISEMINAREA REZULTATELOR

7.1 Contribuții personale

Tabelul 7.1 sintetizează realizările și contribuțiile obținute în cadrul tezei, comparativ cu obiectivele propuse a se realiza:

Tabel 7.1 Realizări și contribuții obținute în cadrul tezei, comparativ cu obiectivele propuse a se realiza

Obiectiv teză	Acțiuni derulate în cadrul tezei	Contribuții personale
Realizarea unei sinteze bibliografice privind stadiul actual al cercetărilor în domeniul ingineriei inverse	Consultarea a 92 referințe bibliografice	Parcurgerea bibliografică a unui număr de 92 referințe bibliografice. Sistematizarea informațiilor privind stadiul actual al cercetărilor în domeniul ingineriei inverse.
Conceperea unei metodologii de reconstituire a geometriilor complexe	Elaborarea unei metodologii aplicabilă în domeniul mecanic	Conceperea unei succesiuni a etapelor de reconstituire a unor geometrii complexe în corelație cu programe specializate pe inginerie inversă.
Conceperea unei metode de calcul de netezire a profilelor rezultate din scanare	Elaborarea unui calcul aplicabil în domeniul mecanic	Conceperea etapelor de netezire a profilelor și elaborarea relațiilor matematice prin aplicarea metodei analizei armonice
Conceperea unei metode de calcul a parametrilor geometrici ai profilelor paletelor axiale	Elaborarea unui calcul aplicabil în domeniul mecanic	Conceperea etapelor de calcul a parametrilor geometrici ai profilelor și elaborarea relațiilor matematice
Aplicarea metodologiei pentru reconstituirea geometriei unei palete axiale (Kaplan) prototip prin inginerie inversă și compararea cu geometria paletei din proiect	Reconstituirea geometriei unei palete prototip de tip Kaplan dintr-un rotor industrial cu diametrul $D_1 = 5400$ mm; Scanarea paletei prin fotogramtrie; Generarea norului de puncte în aplicația Agisoft Photoscan; Reconstituirea geometriei prin intermediul aplicațiilor Geomagic Design X și SolidWorks.	Aplicarea metodologiei pentru reconstituirea geometriei unei palete industriale de tip Kaplan prin fotogramtrie verificarea metodei. Validarea metodologiei de reconstituire a geometriilor complexe, aplicabilă în domeniul mecanic, prin comparația geometriei paletei de referință (din proiect) cu geometria paletei reconstituite.
Aplicarea metodologiei pentru reconstituirea geometriei unui rotor	Reconstituirea geometriei unei palete prototip de tip Francis dintr-un rotor cu diametrul $D_1 = 1160$ mm și 19 palete	Aplicarea metodologiei pentru reconstituirea prin fotogramtrie a geometriei unei rotor Francis industrial în scopul înlocuirii

Tabel 7.1 Realizări și contribuții obținute în cadrul tezei, comparativ cu obiectivele propuse a se realiza

Obiectiv teză	Acțiuni derulate în cadrul tezei	Contribuții personale
de tip Francis prototip	Scanarea rotorului prin fotogrametrie; Generarea norului de puncte în aplicația Agisoft Photoscan; Reconstituirea geometriei prin intermediul aplicațiilor Geomagic Design X și SolidWorks; Generarea desenului de execuție al rotorului în SolidWorks.	rotorului existent aflat în exploatare de cca. 50 de ani, care se află într-o stare avansată de degradare. Cercetările derulate în cadrul tezei au avut aplicabilitate practică, pe baza unui parteneriat contractual dintre universitate și un beneficiar industrial, având ca obiect reconstituirea rotorului Francis și conceperea desenelor de execuție necesare fabricării acestuia.
Reconstituirea geometriei unei palete de tip axial model respectiv a unei cupe Pelton prin inginerie inversă, compararea triangularizării norului de puncte rezultat prin fotogrametrie cu paleta reconstituită în SolidWorks respectiv cu norul de puncte rezultat prin scanare laser, compararea paletei reconstituite în SolidWorks cu măsurători efectuate pe paleta reală.	Reconstituirea geometriei unei palete axiale respectiv a unei cupe Pelton; Scanarea paletei axiale și a cupei prin fotogrametrie și prin scanare laser; Generarea norului de puncte în aplicația Agisoft Photoscan; Netezirea frontierei profilelor paletei axiale aplicând metoda de netezire a frontierelor profilelor paletelor axiale dezvoltată în cadrul tezei și generarea geometriei solide a paletei în SolidWorks; Generarea desenului de execuție al paletei respectiv cupei Pelton în SolidWorks; Comparația triangularizării norului de puncte rezultat prin fotogrametrie cu paleta / cupa Pelton reconstituită în SolidWorks; Comparație măsurători ale paletei model axiale / cupei Pelton efectuate pe o mașină cu comandă numerică cu cea reconstituită în SolidWorks; Comparația norului de puncte al paletei / cupei Pelton rezultat prin fotogrametrie cu cel rezultat din scanare laser model.	Validarea metodologiei de reconstituire a geometriilor complexe, aplicabilă în domeniul mecanic, prin comparația geometriei paletei / cupei Pelton reconstituite cu măsurători ale acestora efectuate pe mașina în coordonate.
Diseminarea rezultatelor	15 lucrări publicate	Indexate ISI - 2, SCOPUS - 4, BDI - 7, conferințe internaționale - 1, reviste naționale - 1.

7.2 Direcții viitoare de cercetare

Direcțiile viitoare de cercetare corelate cu subiectul tezei sunt următoarele:

- aplicarea ingineriei inverse la reconstituirea geometriei altor componente ale turbinelor hidraulice sau pompelor;
- aplicarea ingineriei inverse la reconstituirea geometriei componentelor mecanice;
- investigarea posibilităților de creștere a preciziei geometriilor rezultate prin fotogramtrie;
- aplicarea fotogramtriei pentru inspecție și control dimensional.

7.3 Diseminarea rezultatelor

Pe parcursul perioadei de doctorat am participat la o serie de conferințe naționale și internaționale în domeniul ingineriei mecanice. În urma participării la aceste activități științifice în cadrul cărora am expus activitatea și rezultatele studiilor doctorale, au rezultat un număr de 15 lucrări publicate (indexate ISI - 2, indexate SCOPUS - 4, BDI - 7, conferințe internaționale - 1, reviste naționale - 1) în proceedings-uri sau în reviste după cum urmează:

I. Lucrări ISI:

1. Nedelcu Dorian, Băra Aurel, Pellac Adrian, **Bogdan Sorin-Laurențiu**, *A comparative study between the costs of polymer based rapid prototyping and steel based manufacture*, Rev. Materiale Plastice, Vol. 54, nr. 3, Septembrie, 2017, ISSN 0025-5289, pp. 443-446, WOS:000426412300008.
2. **Bogdan Sorin-Laurențiu**, Nedelcu Dorian, Păducean Ioan, *The Reverse Engineering technique performed on a Francis Runner Geometry through Photogrammetry*, International Conference on Applied Sciences (ICAS2018) 9–11 May 2018, Banja Luka, Bosnia și Herzegovina, publicat în IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering **477** (2019) 012021 doi:10.1088/1757-899X/477/1/012021, WOS:000461184100021.

II. Lucrări Scopus:

1. Nedelcu Dorian, Iancu Vasile, Gillich Gilbert-Rainer, **Bogdan Sorin-Laurențiu**, *Study on the effect of the friction coefficient on the response of structures isolated with friction pendulums*, JVE International UAB, 33rd International Conference on Vibroengineering in Zittau, Germany, September 24-26th 2018, Vibroengineering PROCEDIA, Vol. 19, 2018, p. 6-11.
2. **Bogdan Sorin-Laurențiu**, Nedelcu Dorian, Păducean Ioan, *Determining the geometric parameters of a blade runner that has a geometry obtained through the photogrammetry technique*, The 10th International Symposium KOD 2018 on Machine and Industrial Design in Mechanical Engineering, 6-8 June 2018, Novi Sad, Serbia, KOD 2018, publicat în IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering **393** (2018) 012127 doi:10.1088/1757-899X/393/1/012127.

3. Nedelcu Dorian, **Bogdan Sorin-Laurențiu**, Pădurean Ioan, *The reverse engineering of a blade runner geometry through photogrammetry*, The 10th International Symposium KOD 2018 on Machine and Industrial Design in Mechanical Engineering, 6-8 June 2018, Novi Sad, Serbia, KOD 2018, publicat în IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 393 (2018) 012126 doi:10.1088/1757-899X/393/1/012126.
4. Birtărescu Eugen, Nedeloni Marian-Dumitru, Pedrali P. C., Câmpian C. V., Nedeloni (Filip) Lidia, Ene T. și **Bogdan Sorin-Laurențiu**, *Some Laboratory Tests Regarding the X20Cr13 Martensitic Stainless Steel Behaviour*, 7th International Conference on Advanced Materials and Structures - AMS 2018, 28-31 March 2018 Timișoara, Romania, publicat în IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 416 (2018) 012028 doi:10.1088/1757-899X/416/1/012028.

III. Lucrări BDI:

1. **Bogdan Sorin-Laurențiu**, Pelea Ionela-Mariana, Nedeloni Marian-Dumitru, Pellac Adrian, *Conceperea și descrierea sistemului de acționare și reglare al unei microturbine hidraulice Cross-Flow*, A XVII-a Conferință internațională - multidisciplinară "Profesorul Dorin PAVEL - fondatorul hidroenergeticii românești", iunie 2017.
2. Nedeloni Marian-Dumitru, Birtărescu Eugen, Nedeloni (Filip) Lidia, Hațiegan (Barboni) Luminița, **Bogdan Sorin-Laurențiu**, *Comparative Study on the Cavitation Erosion Resistance Experimental Results of Some Steels Tested through the Cavitation Indirect Method*, Revista Analele Universității "Eftimie Murgu" Reșița. Fascicula de Inginerie, ISSN 1453-7397, Nr. 24(1), 2017.
3. Nedeloni Marian-Dumitru, Nedeloni (Filip) Lidia, Birtărescu Eugen, Băra Aurel, Pellac Adrian, **Bogdan Sorin-Laurențiu**, *Cavitation erosion behavior of a X3CrNi13-4 martensitic stainless steel used to manufacture some components of Francis hydraulic turbines*, Proceedings of the XVIIIth Symposium "Young people and multidisciplinary research", Timișoara 2016.
4. Nedeloni (Filip) Lidia, Hațiegan (Barboni) Luminița, Pellac Adrian, Micliuc Diana, **Bogdan Sorin-Laurențiu**, Pelea Ionela-Mariana, *Cercetări experimentale de eroziune cavitatională pe un oțel aliat de îmbunătățire cu un conținut de 97,2 % fier*, A XVI-a Conferință internațională multidisciplinară „Profesorul Dorin PAVEL – fondatorul hidroenergeticii românești”, Sebeș 2016.
5. Nedelcu Dorian, **Bogdan Sorin-Laurențiu**, Rajić Aleksandar, *The 3D Reconstruction and Dimensional Control of the Reference Part*, ISBN 978-86-84289-75-1, 5th Scientific Conference Entrepreneurship Engineering Management, Zrejnanin, Serbia, 2016.
6. Nedeloni Marian-Dumitru, Pellac Adrian, Stan Marian-Valentin, **Bogdan Sorin-Laurențiu**, Pelea Ionela-Mariana, *Study on erosion cavitation research in laboratory on C35 carbon steel*, Proceedings of the XVIIth Symposium "Young people and multidisciplinary research", Timișoara 2015.
7. Cornel Hațiegan, Nedeloni Marian-Dumitru, Micliuc Diana, Pellac Adrian, **Bogdan Sorin-Laurențiu**, Pelea Ionela-Mariana, *Simulation study with solidworks software of an ultrasonic*

horn of different materials and dimensions to obtain the natural frequency of 20 kHz,
Proceedings of the CONFERENG 2015”, Târgu Jiu 2015.

IV. Lucrări la conferințe internaționale:

1. **Bogdan Sorin-Laurențiu**, Nedelcu Dorian, Pădurean Ioan, *The reverse engineering of a Pelton bucket by Photogrammetry*, Proceedings of 2018 International Conference on Hydraulics and Pneumatics – HERVEX, November 7-9, Băile Govora, Romania, ISSN 1454 – 8003.

V. Lucrări în reviste naționale:

1. Nedelcu Dorian, **Bogdan Sorin-Laurențiu**, Pădurean Ioan, *The 3D geometry reconstruction of a scaled axial blade by photogrammetry*, “Hidraulica” (No. 4/2018), Magazine of Hydraulics, Pneumatics, Tribology, Ecology, Sensorics, Mechatronics, ISSN 1453 – 7303.

BIBLIOGRAFIE

- [1] Agisoft,_blank | Repository, *Technical Guide and Productions Tips For Agisoft Photoscan*, 2016.
- [2] Agisoft LLC 2017 PhotoScan, *Fully automated professional photogrammetric kit*, <https://www.agisoft.com>, 2017.
- [3] Agisoft 2018, *User Manual: Professional Edition*, http://www.agisoft.com/pdf/photoscan-pro_1_4_en.pdf, 2018.
- [4] Ahn Sung Joon, *Automatic Object Recognition in 3D Measuring Data*, The Kips Transactions: PartB, February 2009, Volume 16B Issue 1/Pages.47-54 /2009 / 1598-284X(ISSN), DOI: 10.3745/Kipstb.2009.16-B.1.47, Korea Information Processing Society, Korea, 2009.
- [5] Anton I., *Turbine hidraulice*, Editura Facla, 1979.
- [6] Anton I., Câmpian C. V., Carte I., *Hidrodinamica turbinelor bulb și a turbinelor-pompe bulb*, Editura Tehnică, 1988.
- [7] Antonio Piratelli-Filho, José Alexander Araújo, Antonio C. P. Brasil Júnior, *Reverse engineering of hydraulic turbine runners using coordinate measuring arms and NURBS modeling*, Revista Tecnologia, Fortaleza - Ceará- Brasil – E-ISSN: 2318-0730, v.30, n.1, p. 114-122, jun. 2009.
- [8] Anuj V. Dongaonkar, Rajesh M. Metkar, Vivek K. Sunnapwar, *Design Framework of Reverse Engineering (RE) and Rapid Prototyping (RP) for Development of Broken or Damaged Parts*, Proceedings of the Asia Pacific Industrial Engineering & Management Systems Conference, 2017.
- [9] Beane Andy, *3D Animation-Essentials*, John Wiley & Sons, Inc., Indianapolis, Indiana, ISBN: 978-1-118-14748-1, Canada, 2012.
- [10] Beu Titus, *Analiză numerică în Turbo Pascal*, Editura: Microinformatica, ISBN/Cod: 973-95718-5-9 , 1992.
- [11] Birtărescu Eugen, Nedeloni Marian-Dumitru, Pedrali P. C., Câmpian C. V., Nedeloni (Filip) Lidia, Ene T. și **Bogdan Sorin-Laurențiu**, *Some Laboratory Tests Regarding the X20Cr13 Martensitic Stainless Steel Behaviour*, 7th International Conference on Advanced Materials and Structures- AMS 2018, 28-31 March 2018 Timișoara, Romania, publicat în IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 416 (2018) 012028 doi:10.1088/1757-899X/416/1/012028, 2018.
- [12] **Bogdan Sorin-Laurențiu**, Nedelcu Dorian, Pădurean Ioan, *Determining the geometrical parameters of a blade runner that has a geometry obtained through the photogrammetry technique*, The 10th International Symposium - KOD 2018 - Machine and Industrial Design in Mechanical Engineering, 6 - 8 June 2018, Novi Sad, Serbia, publicat în IOP

Conf. Series: Materials Science and Engineering 393 (2018) 012127 doi:10.1088/1757-899X/393/1/012127, Novi Sad, Serbia , 2018.

[13] Bogdan Sorin-Laurențiu, Nedelcu Dorian, Pădurean Ioan, *The reverse engineering of a Pelton bucket by Photogrammetry*, Proceedings of 2018 International Conference on Hydraulics and Pneumatics – Hervex, November 7-9, Băile Govora, Romania, ISSN 1454 – 8003, 2018.

[14] Bogdan Sorin-Laurențiu, Nedelcu Dorian, Pădurean Ioan, *The Reverse Engineering technique performed on a Francis Runner Geometry through Photogrammetry*, International Conference on Applied Sciences (ICAS2018) 9–11 May 2018, Banja Luka, Bosnia și Herzegovina, publicat în IOP Conf. Ser.: Materials Science and Engineering 477 (2019) 012021 doi:10.1088/1757-899X/477/1/012021, WOS:000461184100021, Banja Luka, Bosnia și Herzegovina 2019.

[15] Calderon M. L., *Application of Reverse Engineering activities in the teaching of engineering design*, DS 60: Proceedings of Design 2010, the 11th International Design Conference, Dubrovnik - Croatia, May 17 - 20, 2010.

[16] Carbone V., Carocci M., Savio E., Sansoni G., Chiffre De L., *Combination of a Vision System and a Coordinate Measuring Machine for the Reverse Engineering of Freeform Surfaces*, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, (2001) 17:263–271, 2001 Springer-Verlag London Limited, Brescia, Italy, 2001.

[17] CEI/IEC, Second edition 1999, International Standard, *Hydraulic turbines, storage pumps and pump-turbines – Model acceptance tests*, Reference number CEI/IEC 60193-1999, 1999.

[18] Çelebioğlu Kutay, Kaplan Alper, *Development and implementation of a methodology for reverse engineering design of Francis turbine runners*, Reference No Pajes-43959, DOI 10.5505/pajes.2018.43959, 2018.

[19] Chen Dyi-Cheng, Lai Bo-Yan, Gao Fu-Yuan, *Simulation analysis of turbine blade in 3D printing aquarium*, MATEC Web of Conferences 123, 00008 (2017), DOI: 10.1051/matecconf/201712300008, 2017 The 2nd International Conference on Precision Machinery and Manufacturing Technology, (ICPMMT 2017) Volume 123, 2017.

[20] Chen Y. H., Ng C. T., Wang Y. Z., *Integration of reverse engineering and rapid prototyping with data reduction*, IFIP TC5 International Conference on Computer Applications in Production and Engineering CAPE '97, 5–7 November 1997, Detroit, Michigan, USA, 1997.

[21] Chen Zhenmu, Singh Patrick Mark, Choi Young-Do, *The effect of runner blade loading on the performance and internal flow of a francis hydro turbine model†*, Journal of Mechanical Science and Technology 30 (4) (2016) 1617~1623, DOI 10.1007 / s12206-016-0317-0, Korea, november 2015.

[22] C.H.I. Cultural Heritage Imaging, Guidelines for Calibrated Scale Bar Placement and Processing, Version 1.0, culturalheritageimaging.org , Cultural Heritage Imaging 2015.

[23] Ciocănea Adrian, Nicolaie Sergiu, Băbuțanu Corina, *Reverse engineering for the rotor blades of a horizontal axis microhydrokinetic turbine*, Energy Procedia Volume 112 (March 2017) pages 35 – 42, DOI.org/10.1016/j.egypro.2017.03.1056, Sustainable Solutions for Energy and Environment, EENVIRO 2016, 26-28 October 2016, Bucharest, Romania, 2016.

[24] Cobliș Ionel Cătălin, *Contribuții privind măsurarea numerică 3D a suprafețelor complexe*, Teză de doctorat, Brașov, 2011.

[25] Curtis Shane. K., Harston Stephen P., Mattson Christopher A., *The fundamentals of barriers to reverse engineering and their implementation into mechanical components*, DOI 10.1007 / s00163-011-0109-6, Res. Eng. Design, (2011) 22:245–261, Springer, 2011.

[26] Dobândă V., *Catalog de profile aerohidrodinamice al LMH*, Institutul Politehnic „Traian Vuia”, Timișoara, 1986.

[27] Erzhuo Che, Jung Jaehoon, Olsen Michael J., *Object Recognition, Segmentation, and Classification of Mobile Laser Scanning Point Clouds: A State of the Art Review*, Sensors 2019, Volume 19(4), 810; EISSN 1424-8220, DOI org/10.3390/s19040810, Licensee MDPI, Basel, Switzerland, February 2019.

[28] Feng C.-X. (Jack), *Internet-Based Reverse Engineering*, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, (2003) 21:138–144, Ownership and Copyright 2003 Springer-Verlag London Limited, USA, 2003.

[29] Fihtenholt G. M., *Curs de calcul diferențial și integral*, vol. 3, pp. 512 – 521, Editura Tehnică București, 1965.

[30] Gaibar Carlos Gómez, *Mechanical design of a photogrammetry imaging platform for prototype meshing*, Treball Fi de Grau, Grau en Enginyeria Mecànica, Volume I, II, III, June 2017, Polytechnic University of Catalonia, Barcelona, Spain 2017.

[31] García R. Manuel J., Boulanger Pierre, Henao Miguel, *Structural optimization of as-built parts using reverse engineering and evolution strategies*, Industrial Application, DOI 10.1007/s00158-007-0122-6 Struct Multidisc Optim (2008) 35:541–550 ,© Springer-Verlag 2008.

[32] García R. Manuel J., Boulanger Pierre, Barbosa Jaime P., Betancur John M., *Application of the reverse engineer in the modeling of a Francis turbine in a Hydroelectric Minipower Station*, 23rd ISPE International Conference on CAD/CAM Robotics and Factories of the Future, Universidad Militar De Nueva Granada, Bogotà, Colombia, Agosto de 2007.

[33] Gerbino S., Martorelli M., Renno F., Speranza D. , *Cheap Photogrammetry versus Expensive Reverse Engineering Techniques in 3D Model Acquisition and Shape Reconstruction*, DS 32: Proceedings of Design 2004, the 8th International Design Conference-Design 2004, Dubrovnik, Croatia, May 17 - 21, 2004.

[34] Gibson Ian, *Advanced Manufacturing Technology for Medical Applications (Reverse Engineering, Software Conversion and Rapid Prototyping)*, John Wiley & Sons Ltd, The Atrium, Southern Gate, Chichester, West Sussex PO19 8SQ, England, ISBN 0-470-01688-4, 2005.

[35] GOM, *Application Example: Quality Control/Turbines: 3D Measurement of Water Turbines*, GOM Optical Measuring Techniques <https://www.gom.com>, 2008 GOM mbH, 2008.

[36] Kamran Mohaghegh, Sadeghi Mohammad H., Abdullah Amir, Boutorabi Reza, *Improvement of reverse-engineered turbine blades using construction geometry*, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, (2010) 49:675–687, DOI 10.1007/s00170-009-2409-9, Springer-Verlag London Limited, Teheran, Iran, 2010.

[37] Kumar Atul, Jain P. K., Pathak P. M., *Machine element reconstruction using integrated reverse engineering and rapid prototyping approach*, 5th International & 26th All India Manufacturing Technology, Design and Research Conference (AIMTDR 2014) December 12th–14th, 2014, IIT Guwahati, Assam, India, 2014.

[38] Lemeš Samir, *Validation of numerical simulations by digital scanning of 3D sheet metal objects*, Teză de doctorat, Ljubljana, 2010.

[39] Levoy Marc, Rusinkiewicz Szymon, Ginzton Matt, Ginsberg Jeremy, Pulli Kari, Koller David, Anderson Sean, Shade Jonathan, Curless Brian, Pereira Lucas, Davis James, Fulk Duane, *The Digital Michelangelo Project: 3D Scanning of Large Statues*, Proc. Siggraph 2000.

[40] Lichti D. D., Gordon S. J., Stewart M.P., Franke J., Tsakiri M., *Comparison of Digital Photogrammetry and Laser Scanning*, ResearchGATE, January 2002.

[41] Marčiš M., *Quality of 3D Models Generated by SFM Technology*, Slovak Journal of Civil Engineering Vol. XXI, 2013, No. 4, 13 – 24, DOI: 10.2478/sjce-2013-0017, 2013.

[42] McQuillan Alison, *Comparison of photogrammetry and survey laser scanning output data for use in mapping joints in open cut highwalls*, 13th Coal Operators' Conference, University of Wollongong, The Australasian Institute of Mining and Metallurgy & Mine Managers Association of Australia, 2013, 347-354, Australia, 2013.

[43] Mitchell H. L., Chadwick R. G., *Challenges of Photogrammetric Intra-oral Tooth Measurement*, The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. Vol. XXXVII. Part B5. Beijing 2008.

[44] Mohaghegh K., Sadeghi. M. H., Abdullah A., *Reverse engineering of turbine blades based on design intent*, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology (2007) 32: 1009-1020, DOI 10.1007/s00170-006-0406-9, Springer-Verlag London Limited, Manufacturing Engineering Group, Mechanical Engineering, Department, Tarbiat Modarres University, Tehran, Iran, 2007.

[45] Nedelcu Dorian, Cojocaru Vasile, *Reconstituirea geometriei unui implant de genunchi*, An XII, Vol. 21/2012, ISSN 2067-7138, A XII-a Conferință Națională multidisciplinară-cu participare internațională „Profesorul Dorin PAVEL-Fondatorul hidroenergeticii românești”, 1-2 iunie, 2012, Sebeș, 2012.

[46] Nedelcu Dorian, Rajic Aleksandar, Florea Dănuț, Avasiloaie Raoul, *The Reverse Engineering of a Spring Support using the Noomeo Optimum 3D Scanner and the Rapidform XOR3*

software, Analele Universității “Eftimie Murgu”, Reșița, Anul XX, NR. 1, ISSN 1453 – 7397, Reșița, 2013.

[47] Nedelcu Dorian, Avasiloaie Raoul, Florea Dănuț, *Aplicarea ingineriei inverse pentru reconstrucția geometriei unui rotor*, A XIII-a Conferință Națională multidisciplinară cu participare internațională „Profesorul Dorin PAVEL-fondatorul hidroenergeticii românești”, Sebeș, 2013.

[48] Nedelcu Dorian, **Bogdan Sorin-Laurențiu**, Aleksandar Rajić, *The 3D Reconstruction and Dimensional Control of the Reference Part*, ISBN 978-86-84289-75-1, 5th Scientific Conference Entrepreneurship Engineering Management, Zrejanin 23.04.2016, Serbia, 2016.

[49] Nedelcu Dorian, *Reconstituirea geometriei componentelor mecanice prin Fotogrametrie*, Partea I, A XVI-a Conferință Națională internațională-multidisciplinară „Profesorul Dorin PAVEL-fondatorul hidroenergeticii românești” 10-11 iunie 2016, Sebeș, 2016.

[50] Nedelcu Dorian, **Bogdan Sorin-Laurențiu**, Padurean Ioan, *The reverse engineering of a blade runner geometry through photogrammetry*, The 10th International Symposium KOD 2018 on Machine and Industrial Design in Mechanical Engineering, 6-8 June 2018, Novi Sad, Serbia, KOD 2018, publicat în IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 393 (2018) 012126 doi:10.1088/1757-899X/393/1/012126, Novi Sad, Serbia, 2018.

[51] Nedelcu Dorian, Vasile Iancu, Gillich Gilbert-Rainer, **Bogdan Sorin-Laurențiu**, *Study on the effect of the friction coefficient on the response of structures isolated with friction pendulums*, JVE International UAB, 33rd International Conference on Vibroengineering in Zittau, Germany, September 24-26th 2018, Vibroengineering PROCEDIA, Vol. 19, 2018, p. 6-11, Zittau, Germany 2018.

[52] Nedelcu Dorian, **Bogdan Sorin-Laurențiu**, Păducean Ioan, *The 3D Geometry Reconstruction of a Scaled Axial Blade by Photogrammetry*, “HIDRAULICA” (No. 4/2018), Magazine of Hydraulics, Pneumatics, Tribology, Ecology, Sensorics, Mechatronics, ISSN 1453 – 7303, 2018.

[53] Nguyen Chuong, Adcock Matt, Anderson Stuart, Lovell David, Fisher Nicole, Salle La John, *Towards high-throughput 3D insect capture for species discovery and diagnostics*, eScience 2017, BigDig 24 Octomber - High Throughput Digitization for Natural History Collections, Australia 2017.

[54] Ouamer-Ali Islem Mohamed, Laroche Florent, Remy Sébastien, Bernard Alain, *Knowledge and Information Structuring in Reverse Engineering of Mechanical Systems*, IFIP International Federation for Information Processing 2016, A. Bouras et al. (Eds.): PLM 2015, IFIP AICT 467, pp. 418–427, 2016, DOI: 10.1007/978-3-319-33111-9_39, Published by Springer International Publishing Switzerland 2016.

[55] Paul Koppel, *Agisoft PhotoScan: Point Cloud accuracy in close range configuration*, www.koppel-engineering.de/, 2018.

[56] Piperi E., Galantucci L. M., Kaçani J., Bodi I., Spahiu T., *3D low-cost scanning systems development for mechanical parts digitalization*, 1st International Conference “Engineering and Entrepreneurship” Proceedings Volume: 1, ICEE 17-18 November 2017 At: Tirana, Albania, 2017.

[57] Relvas Carlos, Ramos António, Completo António, Simões José António, *Accuracy Control of Complex Surfaces in Reverse Engineering*, International Journal of Precision Engineering and Manufacturing Vol. 12, No. 6, pp. 1035-1042, DOI: 10.1007/s12541-011-0138-0, 2011, Portugal, 2011.

[58] She Chen-Hua, Chang Chun-Chi, *Study of applying reverse engineering to turbine blade manufacture*, Journal of Mechanical Science and Technology 21, (October 2007) 1580-1584, 2007.

[59] Skarlatos D., Kiparissi S., *Comparison of laser scanning, photogrammetry and SFM-MVS pipeline applied in structures and artificial surfaces*, ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume I-3, 2012, XXII ISPRS Congress, Commission III, WG 4, 25 August – 01 September 2012, Melbourne, Australia, 2012.

[60] Sokovic M., Cedilnik M., Kopac J., *Use of 3D-scanning and reverse engineering by manufacturing of complex shape*, 13th Internatoinal Scientific Conference on Achievements in Mechanical and Materials Engineering, 16th-19 th May 2005, Gliwice-Wista, Poland, 2005.

[61] Song In-Ho, Kim Kyung-Don, Chung Sung-Chong, *Internet-based dimensional verification system for reverse engineering processes*, Journal of Mechanical Science and Technology 22 (2008) 1259~1268, South Korea, 2008.

[62] Soni Kunal , Chen Daniel, Lerch Terence, *Parameterization of prismatic shapes and reconstruction of free-form shapes in reverse engineering*, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, (2009) 41:948–959, DOI 10.1007/s00170-008-1550-1, Springer-Verlag London Limited, USA, 2009.

[63] Telea Alexandru C., *Reverse Engineering – Recent Advances and Applications*, ISBN 978-953-51-0158-1, Croația, februarie, 2012.

[64] Tsai Yao-Chen, Huang Chung-Yi, Lin Kuan-Yuan, Lai Jiing-Yih, Ueng Wen-Der, *Development of automatic surface reconstruction technique in reverse engineering*, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, (2009) 42:152–167, DOI 10.1007/s00170-008-1586-2, Springer-Verlag London Limited, Taiwan, Republic of China, 2009.

[65] Tsuzuki Marcos S. G., Vatanabe Sandro L., Castro Emilio G., Silva Emilio C. N., Martins Thiago C., Taniguchi Denis, Makiyama Humberto S., Sato Andre K., Gallo Giulliano B., Garcia Marcos A.A, Tiba Hamilton, *Development of a Complete Methodology to Reconstruct, Optimize, Analyze and Visualize Francis Turbine Runners*, / IFAC-PapersOnLine 48-3 (2015) 1900–1905, IFAC (International Federation of Automatic Control) Symposium on Information Control Problems in Manufacturing, 2015-05-11, Ottawa, 2015.

[66] Urbanic R. J, *A design and inspection based methodology for form-function reverse engineering of mechanical components*, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, (2015) Volume 81, Issue 9–12, pp 1539–1562, Print ISSN 0268-3768, DOI 10.1007/s00170-015-7180-5, Springer-Verlag London, 2015.

[67] Vinesh Raja, Fernandes Kiran J., *Reverse Engineering An Industrial Perspective*, Springer-Verlag, ISBN-13: ISBN 978-1-84628-855-5, London, 2008.

[68] Virtanen Juho-Pekka, Kurkela Matti, Hyppä Hannu, *Using 3D in design – an overview of measuring methods and experiences*, ISBN: 978-1-904670-58-2, NordDesign, DS 81: Proceedings of NordDesign 2014, Espoo, Finland / Melbourne 27-29th August, Australia, 2014.

[69] Voicu Adrian-Cătălin, Gheorghe Gheorghe I., *Măsurarea 3D a reperelor complexe din industria auto utilizând scanare laser*, Institutul Național de Cercetare și Dezvoltare pentru Mecatronica și Tehnica Măsurării, București, Buletinul AGIR nr. 3/2013 iulie-septembrie, 2013.

[70] VXelements-Fully integrated 3D software platform, *Metrology solutions, AMETEK® Ultra Precision Technologies*, Creaform Inc. 2017.

[71] Wilfried Linder, Digital Photogrammetry, *A Practical Course, Fourth Edition*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, ISBN 978-3-662-50462-8, Germany, 2016.

[72] Yao A. W. L., *Applications of 3D scanning and reverse engineering techniques for quality control of quick response products*, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, (2005) 26: 1284–1288, DOI 10.1007/s00170-004-2116-5, Springer-Verlag London Limited, 2005.

[73] Zhang Dinghua, Cheng Yunyong, Jiang Ruisong, Wan Neng, *Turbine Blade Investment Casting Die Technology*, Chapter 5 Deformation Simulation of Investment Casting and Die Cavity Optimization of Turbine Blade, DOI 10.1007/978-3-662-54188-3_5/ISBN 978-3-662-54186-9, National Defense Industry Press and Springer-Verlag GmbH Germany 2018.

[74] Zhang Ding Hua, Jiang Rui Song, Li Jian Ling, Wang Wen Hu, Bu Kun, *Cavity optimization for investment casting die of turbine blade based on reverse engineering*, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, (2010) 48:839–846, DOI 10.1007/s00170-009-2343-x, Springer-Verlag London Limited 2009, China, 2009.

[75] Zhang Jianchao, Yu Zhihong, *Overview of 3D Printing Technologies for Reverse Engineering Product Design¹*, DOI: 10.3103/S0146411616020073, ISSN 0146 4116, Automatic Control and Computer Sciences, 2016, Vol. 50, No. 2, pp. 91–97, Allerton Press, Inc., 2016.

[76] Zhang Yingjie, Lu Shangning, *Feature extraction from slice data for reverse engineering*, Front. Mech. Eng. China 2007, 2(1): 25–31, DOI 10.1007/s11465-007-0004-z, CIMS Institute, The Academy of Aerospace Solid Propulsion Technology, Higher Education Press and Springer-Verlag 2007, China 2007.

Surse internet:

- [77] <https://www.agisoft.com>
- [78] <https://coord3.com>
- [79] <http://www.creaform3d.com>
- [80] <http://www.csnp.roedu.ro>
- [81] <https://www.develop3d.com>
- [82] <https://www.drgandhdental.com>
- [83] <https://www.3dsystems.com>
- [84] <https://www.gom.com>
- [85] <https://www.gom-inspect.com>
- [86] <https://www.kimet.ro>
- [87] <https://www.materialise.com>
- [88] <https://www.namicon.com>
- [89] <https://www.noomeo.eu>
- [90] <http://scanare3d.com>
- [91] <https://softwaresupport.3dsystems.com>
- [92] <https://www.solidworks.com>