Pišeta: **Samo Gazvoda**, **Luka Botolin**, TECOS, Razvojni center orodjarstva Slovenije, Celje



Z NATANČNIM 3D SKENIRANJEM DO POPOLNE KOPIJE OBRABLJENE KOMPONENTE

Za kakovostno vzdrževanje potrebujemo kakovostno dokumentacijo. V realnosti smo večkrat izpostavljeni primerom, ko je dokumentacija iz teh ali onih razlogov slaba, pomanjkljiva ali pa je celo ni, lahko pa da ne ustreza zaradi nedokumentiranih sprememb ali pa obrabe soležnih komponent. V teh primerih se kot zelo primerna izkaže metoda 3D-skeniranja, s katero se lahko hitro in z visoko natančnostjo rekonstruira prvotno stanje izrabljene ali poškodovane komponente.

Pričujoči prispevek obravnava tehnologiji 3D-skeniranja in vzvratnega inženirstva ter na praktičnih primerih prikaže njuno uporabo za aplikacije vzdrževanja.

Ključne besede: 3D-skeniranje, obnova, vzvratno inženirstvo, vzdrževanje, digitalizacija

1. UVOD

V proizvodnji se uporablja veliko namenskih strojev in naprav, ki so narejene po meri. Zaradi majhnih serij ali celo unikatnih naprav so nadomestni deli zelo dragi, v primeru stare opreme pa jih pogosto ni več mogoče dobiti. Posledično so zelo pogosti primeri, ko je ključen del stroja ali naprave obrabljen do te mere, da ne zagotavlja več osnovne funkcionalnosti, ostali sklopi pa so še v brezhibnem ali vsaj operativnem stanju. Ker se ponavadi popolne tehniške dokumentacije (sestavnica, kosovnica, delavniške risbe in 3D-modeli) k strojem seveda ne prilaga, so tako uporabniki pogosto pritisnjeni ob zid, saj ali sploh ne morejo izdelati nadomestnih delov z dovolj veliko natančnostjo, ali pa tega vsaj ne morejo storiti pravočasno.

Z uporabo vrhunskih sodobnih 3D-skenerjev je te probleme moč rešiti, saj je do natančnega posnetka dejanske geometrije izrabljenega dela moč priti zelo hitro.

2. 3D-SKENIRANJE IN VZVRATNO INŽENIRSTVO

Tehnologija 3D-skeniranja je dandanes že zelo uveljavljena in tudi razširjena po svetu in doma [1], [2]. V preteklih dveh desetletjih se je razvilo kar nekaj proizvajalcev 3D-skenerjev, čeprav jih je še vedno le peščica sposobnih zagotavljati industrijsko ponovljivost meritev.

2.1 Delitev 3D-skenerjev

V grobem se 3D-skenerji po principu skeniranja delijo na dotične in brezdotične, nadalje še na porušne in neporušne. Slednja delitev nas ne zanima toliko, glede na prvo delitev pa ločimo skenerje na:

- dotični 3D-skenerji
  - merilne roke s tipalno sondo
  - koordinatni merilni stroji s programsko opremo za skeniranje
  - CNC-obdelovalni centri s tipalno sondo in programsko opremo za skeniranje
- brezdotični 3D-skenerji
  - laserski skenerji:
    - merilne roke s točkovno ali linijsko lasersko sondo
    - prostoročni linijski laserski skenerji
  - skenerji na strukturirano svetlobo (v nadaljevanju SSS, včasih se jih iz zgodovinskih vzrokov imenuje "skenerji na belo svetlobo")
  - rentgenski (CT) skenerji oz. računalniška tomografija

Gazvoda in Botolin [2] sta podrobno razdelala prednosti in pomanjkljivosti posameznih metod 3D-skeniranja, povzetek v tabeli 1.

Tabela 1: Primerjava brezdotičnih metod meritev in dotičnega merjenja s koordinatnimi merilnimi stroji (predpostavlja se uporaba vodilnih sistemov na trgu pri vseh tehnologijah; bela svetloba = strukturirana svetloba) [2]

Princip merjenja	Brezdotično merjenje			Dotično merjenje
Merilni sistem / Karakteristika	Računalniška tomografija	Bela svetloba	Laserski digitalizator	Koordinatni merilni stroj
Prilagodljivost velikosti merjenca	–	+	O	O
Merjenje poljubnih površin	+	–	O	+
Večkomponentni polizdelki	–	+	+	+
Izvrtine L/D > 1,5	+	–	–	+*
Notranja struktura	+	–	–	–
Točnost	+	O	–	+
Investicijski stroški	–	O	O	–
Mobilnost	–	+	+	O
Hitrost merjenja	–	+	+	O
Merjenje serij	–	O**	O	+

+ - pozitivno, O - srednje, – - negativno;
* z uporabo prave merilne sonde
** z dodatno opremo (vrtljiva miza, enota za avtomatizacijo...)

Tabela 1 je sicer izdelana za primer meritev s skeniranjem, a lahko iz nje vseeno povzamemo, da so najbolj fleksibilni SSS-skenerji (v tabeli "skenerji na belo svetlobo"), njihove prednosti so predvsem v:

- robustnosti (povratna zanka omogoča sprotno preverjanje točnosti skeniranja)
- fleksibilnosti (isti sistem primeren za skeniranje gabaritov med 10 mm in >1 m oz. celo 10 m in več)
- možnosti skeniranja na terenu - v proizvodnih halah in na prostem
- natančnosti – takoj za koordinatnimi merilnimi stroji omogočajo največjo natančnost (pri vodilnih ponudnikih dosegljiva 0,005 mm in manj, za kose do velikosti 500 mm je od 0,01 do 0,02 mm)
- hitrosti zajema in kvaliteta podatkov – zajemamo lahko najmanjše detajle



Slika 1: 3D-skener na strukturirano svetlobo (SSS) ATOS CS vodilnega proizvajalca GOM

Laserski skenerji so primerjalno manj točni, saj je treba poleg odstopka laserske sonde prišteti še odstopek pozicioniranja sonde v prostoru (prostoročno ali merilna roka), hkrati je kakovost zajetih podatkov slabša, ker zajemajo podatke le točkovno ali linijsko. So pa v določenih primerih bolj fleksibilni, ker je lahko oddaljenost merilne sonde od merjenca manjša kot pri SSS.



Slika 2: Laserska roka proizvajalca FARO

Računalniška tomografija je sicer zelo dobra alternativa, vendar smo tukaj omejeni z gabariti. Komercialno dostopne naprave morajo imeti seveda velike masivne komore za zaustavitev nevarnega sevanja, kar pomeni, da so trenutno v praksi največje dimenzije omejene na nekje φ 300x300 mm. Nadalje nastane tudi težava z materiali, saj materialov z večjo gostoto od aluminija v splošnem ni mogoče skenirati. Natančnost je v rangu SSS.



Slika 3: Rentgenski merilni stroj Metrotom podjetja Carl Zeiss

Dotični skenerji so sicer najbolj natančni (koordinatni merilni stroji), a je njihova težava majhna gostota podatkov (detajli se pogosto izgubijo) in s tem povezana dolgotrajnost skeniranja. Hkrati je fleksibilne materiale nemogoče izmeriti, kar brezdotične metode seveda omogočajo.

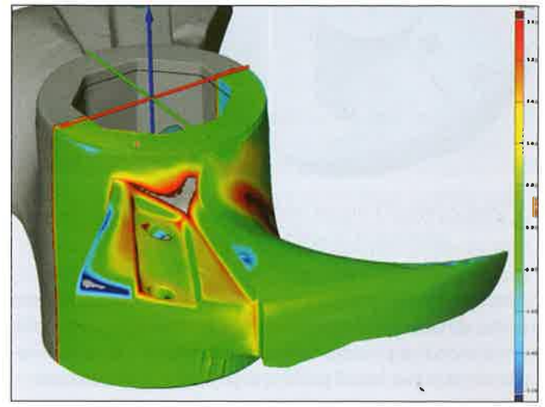
2.2 Vzvratno inženirstvo

Vzvratno inženirstvo [1] je obrnjen pristop h klasičnemu snovanju izdelkov in orodij. Bistvo vzvratnega inženirstva je uporaba že obstoječih rešitev na konkretnih primerih. Obstaja namreč velika verjetnost, da za nek problem že obstaja rešitev, ki jo je treba samo poiskati. Ta rešitev se lahko preko vmesnega postopka 3D-skeniranja pretvori v 3D matematičen model in vključi v osnovni projekt. Povedano drugače – pri vzdrževanju lahko npr. hitro rekonstruiramo geometrijo obrabljenega dela brez dokumentacije in pripravimo 3D-model za izdelavo replike na CNC-strojih. Slika 4 prikazuje postopek vzvratnega inženirstva.



Slika 4: Shematičen prikaz možnosti uporabe 3D-skeniranja in vzvratnega inženirstva v praksi [1]

Seveda je možno za enostavnejše komponente brez kompleksne geometrije in prostih površin pripraviti 3D-modele tudi brez 3D-skeniranja, a bi tukaj želel poudariti, da imamo v primeru skeniranja vedno pri roki izvorne podatke iz skenerja, s čimer lahko preverimo odstopke 3D-modeliranja od dejanskega vzorca (slika 5).



Slika 5: Primerjava CAD-modela s skeniranimi podatki (siva barva) – barve ponazarjajo velikost odstopkov

3. PRAKTIČNI PRIMERI UPORABE

3.1 Popravilo rezilnega orodja

Stranka je morala obnoviti preveč obrabljen rotor z noži, za katerega niso imeli delavniške dokumentacije in 3D-modela. Rotor ni več deloval optimalno, zato je bila obnova nujna. Slika 6 prikazuje obrabljen segment rotorja.



Slika 6: Obrabljen segment rotorja rezilnega orodja

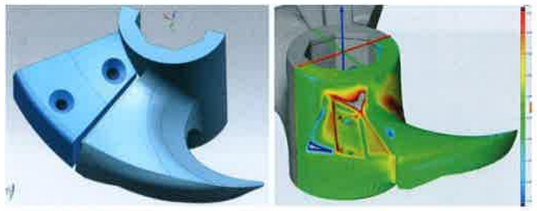
Na voljo smo imeli torej obrabljen segment, ki je bil neprimeren za neposredno kopiranje. Zaradi kompleksne geometrije je bilo nemogoče narediti točno kopijo po klasičnih metodah (pomično merilo, obrisi ipd.), hkrati je bila zahtevana tudi visoka natančnost zaradi rotacijskega gibanja in potencialnih vibracij.

Izvedli smo naslednje operacije:

- natančno 3D-skeniranje celotne geometrije 4 kosov (2 poziciji nožev, rotor in segment potisnega noža) – točnost 0,03 mm

- vzvratno inženirstvo (izdelava točnega CAD-modela) vseh segmentov glede na skenirane podatke

- rekonstrukcija obrabljenih območij glede na zahteve naročnika



Slika 7: Levo 3D-model rekonstruiranega noža in desno primerjava modela s skeniranimi podatki

V kratkem času se je uspelo zagotoviti 3D-model za izdelavo replike, dimenzijsko ustreznost izdelanih nadomestnih delov ter v končni fazi povrnjeno osnovno funkcionalnost in zmogljivost naprave. Izpad proizvodnje je bil kar se da kratek.

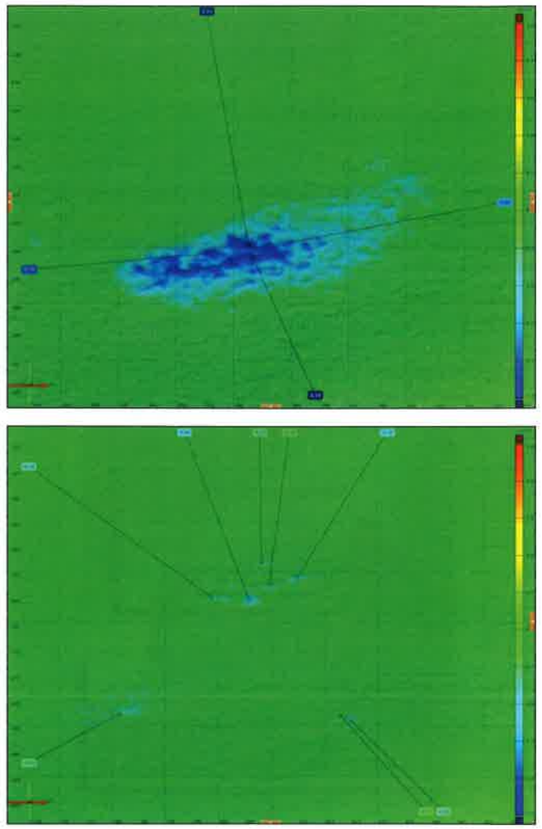
3.2 Analiza obrabe gonilne turbine črpalne hidroelektrarne Avče

Gonilne turbine so močno obremenjeni deli hidroelektrarn, podvrženi visokim pritiskom medija in posledično obrabi. V omenjeni HE so pred leti zagnali projekt analize intenzivnosti obrabe lopatic turbine preko periodičnega spremljanja kavitacije. Večkrat smo tako izvedli 3D-skeniranje lopat in vsakič s priloženo programsko opremo premerili obrabo zaradi kavitacije.



Slika 8: 3D-skeniranje gonilne turbine v HE Avče

S pomočjo neobrabljenih delov smo rekonstruirali osnovno površino in jo uporabili za referenco pri merjenju amplitude kavitacije. Rezultati ene meritve za dve lopatici so na sliki 9.

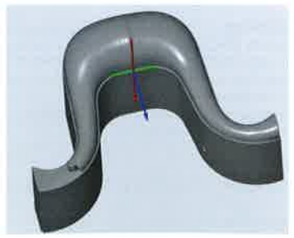


Slika 9: Meritve jakosti kavitacije na dveh lopaticah – nazorno se vidi območje, prizadeto zaradi kavitacije

Podatki so naročniku služili v veliko oporo pri planiranju intervala vzdrževanja.

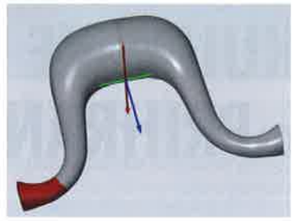
3.3 Obnova orodja za preoblikovanje pločevine

Pri naročniku je prišlo do porušitve oblikovnega vložka. Ker je bil pred tem ročno popravljen, desna in leva stran vložka nista povsem zrcalni.



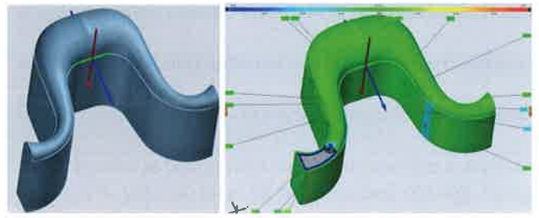
Slika 10: 3D-sken oblikovnega vložka – na levi strani se vidi manjkajoč del, ki ga je bilo treba rekonstruirati s pomočjo zrcaljenja z desne strani

Želja je bila, da oblikovni del ostane tak, kot je bil skeniran, razen detajla, ki manjka (tega se zrcali). Vložek smo v celoti poskenirali, nato smo iz desne strani prenesli le tisti del oblike, ki je manjkal in ga zlepili na obstoječi del skeniranih podatkov. Tak STL je bil osnova za izdelavo površinskega modela (slika 11).



Slika 11: Zrcaljeni del (rdeča barva)

Sledilo je vzvratno inženirstvo, končni rezultat je natančen CAD-model oblikovnega vložka, ki je služil za izdelavo natančne replike (slika 12).



Slika 12: Levo je prikazan končni CAD-model, desno pa njegovi odstopki od skeniranih podatkov

4. ZAKLJUČKI

Prikazane metode vzvratnega inženirstva in 3D-skeniranja omogočajo hitro pot do natančnih računalniških podatkov o 3D-geometriji izdelkov, ki so pogoj za hitro, učinkovito in kakovostno izdelavo nadomestnega dela s CNC-stroji. Na ta način lahko drastično skrajšamo čas in znižamo stroške obnove, zlasti pri namenskih strojih z dragimi unikatnimi komponentami.

S pričujočimi primeri je prikazano nekaj vidikov uporabe, ki sega vse od močno obremenjenih strojnih delov (rotor z rezili), analize obrabe vodilne lopate turbine hidroelektrarne, obnove orodij za preoblikovanje kovin in plastike, do rekonstrukcije celotnih naprav brez dokumentacije.

V članku so predstavljene zrele tehnologije, ki se v praksi uporabljajo že dve desetletji in več ter so v svetu in doma postale nepogrešljive pri vzdrževanju strojev, opreme in orodij. Omogočajo večfazno izvedbo z vmesnimi kontrolami odstopkov, s čimer se stroški minimirajo. Rezultati se lahko elektronsko arhivirajo in služijo kot referenca tudi pri naslednjih obnovah z nadaljnjo optimizacijo geometrije za dvig izkoristkov oz. učinkovitosti.

REFERENCE:

[1] Gazvoda S., Botolin L., Nardin B.: UPORABA OBRATNEGA INŽENIRSTVA V PRAKSI; Zbornik Posveta Orodjarstvo in strojegradnja 2003, Portorož, 2003.

[2] Gazvoda S., Botolin L.: O PREDNOSTIH 3D-MERITEV Z BREZDOTIČNIMI METODAMI MERJENJA - SO KOORDINATNI MERILNI STROJI PRETEKLOST?; Zbornik posveta Orodjarstvo in strojegradnja 2011, Ljubljana, 2011.

ABSTRACT

WITH THE USE OF 3D SCANNING TO THE PERFECT COPY OF DAMAGED OR WORN OUT COMPONENT

High quality maintenance requires high quality technical documentation. In reality, we are very often in a position where the technical documentation is, due to different reasons, in a bad quality, lacks important information or it even doesn't exist. In numerous occasions it doesn't reflect current conditions because of undocumented changes or possibly the mating components are worn out. 3D scanning is a welcome technology in such cases as it enables us to quickly achieve a reconstruction of the initial state of the worn out or damaged component.

The paper addresses the technologies of 3D scanning and reverse engineering, their usage in modern mechanical engineering and displays the benefits of their usage in the field of maintenance on practical case studies.

Key words: 3D scanning, refurbishment, reverse engineering, maintenance, digitising

