

Ekspertni sistemi in pravila kalibriranja

Expert Systems and Calibration Rules

B. Kumer¹, Valjarna Štore
R. Turk, OMM - NTF, Univerza v Ljubljani

Prejem rokopisa - received: 1995-10-04; sprejem za objavo - accepted for publication: 1996-01-22

Kalibriranje je postopek, ki temelji na izkustvenem znanju. Izkustveno, to je ekspertno, znanje lahko nova generacija informacijske tehnike uporablja z umetno inteligenco. Na tem področju se med drugim uveljavljajo tudi ekspertni sistemi, katerih naloga je izkoristiti izkustveno znanje v obliki pisanih pravil ter na osnovi le-teh pospešiti, voditi in kontrolirati proces kalibriranja.

Ključne besede: toplo valjani profili, kalibriranje, ekspertni sistemi

Calibration is a technique based on knowledge of experts. Such knowledge nowadays can be used with help of artificial intelligence. Artificial intelligence is the field where expert systems are used more and more. The main purpose of expert systems is to use written calibration rules and make the process of calibration faster and more controllable.

Key words: hot rolled profiles, calibration, expert systems

1 Uvod

Preoblikovanje je znanstvena veda, pri kateri je jasno opaziti pomanjkanje eksaktnih matematičnih modelov. Med preoblikovanjem operiramo z gibanjem velikega števila "elementarnih delcev", ki med plastičnim stanjem tečejo v raznih smereh, vendar pa so med seboj tesno povezani.

Najpogosteje uporabljena oblika preoblikovanja je valjanje, pri katerem poskušamo iz izhodiščnega profila z vrsto prehodov skozi odprtine v valjih dobiti končni profil z želenimi strukturnimi in geometrijskimi lastnostmi.

Določitev zaporednih odprtin (kalibrov) v valjih, skozi katere mora iti obdelovanec, se imenuje kalibriranje.

Kalibriranje zaenkrat ni možno programirati in izvesti le z analitičnimi ali numeričnimi metodami. Posebno pri kalibriranju specialnih, nestandardnih profilov pridejo do izraza dolgoletne izkušnje kalibrerja - eksperta, ki se kažejo v obliki množice priročnih pravil (hevrstik). Računalniški programi, ki so osnovani na izkustvenem znanju kalibrerjev - ekspertov, se imenujejo EKSPERTNI SISTEMI.

2 Primerjava klasičnega kalibriranja z ekspertnim sistemom

2.1 Klasično kalibriranje

Klasično kalibriranje predstavlja v valjarnah še vedno osnovo za določevanje kalibrskih vrst. To še posebno velja za valjanje specialnih profilov, ki jih ni mogoče primerjati s standardnimi (kvadratnimi, okroglimi...), pri

kalibriranju le-teh se v veliki meri že uporablja računalniška oprema.

Kalibriranje ni možno izvesti samo z analitičnimi ali numeričnimi metodami. Kalibrer je ekspert, ki si je z dolgotrajno prakso nabral znanje, s katerim izkustveno načrtuje kalibrsko vrsto. Pri vsakem vtiku se profil stopenjsko preoblikuje. Pri tem se palica podaljša, material pa intenzivno teče tudi v prečnih smereh. Znanje o snovnih in oblikovnih lastnostih valjanega materiala, ki odločilno vplivajo na konstrukcijo kalibrske vrste, si kalibrer pridobi na osnovi uspešnih in neuspešnih kalibracij. Vsak kalibrer si zgradi svoj osebni sistem kalibriranja in svojo lastno množico priročnih pravil ali hevrstik. Tudi v tujini prevladuje mnenje, da kalibrer potrebuje za uspešno delo vsaj dvajset let delovnih izkušenj.

Kadar prepozna kalibrer iz pomembnih lastnosti železnega profila podobnost z eno od že realiziranih kalibracij, potem sledi njegovo razmišljanje rutini. Rečemo lahko, da je njegovo razmišljanje vzorčno krmiljeno¹. Po drugi strani je njegovo ravnanje tudi podobno planiranju: poskuša najprej razviti kalibrsko vrsto v eni smeri. Če gre, nadaljuje, če pa ne, se vrne h kakšni prejšnji točki in skuša od tu naprej razviti vrsto v drugi smeri. **Slika 1** prikazuje splošno smer, ki ji sledi, ko razvija kalibrsko vrsto¹.

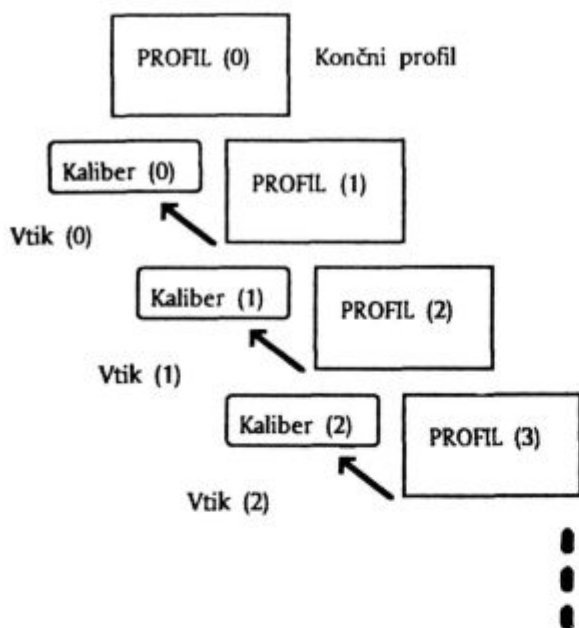
Poglaviti koncept, iz katerih kalibrer izhaja, je interakcija med pojmi:

- profil
- kaliber
- vtik.

Pri tem izhaja iz znanega, vnaprej podanega končnega profila (profil (0)) in stremljeva k še nepoznanemu začetnemu profilu.

Kadar pa se kalibrer sreča s primerom, ki mu je še nepoznan, napreduje bolj korakoma. Pri tem bolj ali manj uporablja pridobljeno praktično znanje, izkušnje in

¹ Boris KUMER, dipl.inž.
METAL RAVNE, d.o.o., PE Štore - Valjarna
3220 Štore, Železarska 3



Slika 1: Strategija kalibriranja
Figure 1: Strategy of calibration

intuicijo. Pri tem se ne opira na teoretično (tehnično) znanje.

Iz tega se vidi, da je kalibriranje področje, ki je primerno za uporabo v ekspertnih sistemih.

2.2 Ekspertni sistemi

2.2.1 Ekspertni sistemi

Na znanju osnovani sistemi so računalniški programi, ki vsebujejo znanje v simbolični obliki, ločeno od programskega algoritma¹. To znanje obsega tako imenovano formalno znanje ozke domene, dodatno pa še metaznanje - to so v bistvu strategije in heuristike, ki jih pri reševanju problemov iz te domene navadno uporabljamo. Znanje se nahaja v tako imenovani bazi znanja. Ta in mehanizem sklepanja - to je del sistema, v katerem se iz dejstev in pravil izpeljujejo nova dejstva - sta pri sistemih, ki so osnovani na znanju, strogo ločena. Na ta način se lahko takšen sistem dograjuje od prototipa do končnega sistema. Takšnemu sistemu je navadno dodana še pojasnjevalna komponenta, ki skrbi za to, da je sistem čim bolj transparenten. To je namreč zelo pomembno, kajti ljudje navadno ne zaupajo preveč napravam, katerih delovanje ne razumejo. Na znanju osnovan sistem s takšnimi lastnostmi se imenuje EKSPERTNI SISTEM.

Za izvedbo v obliki ekspertnega sistema so zlasti prikladna področja, pri katerih obstaja ekspertiza iz praktičnega znanja, heuristik in tako dalje - vse to je formalno znanje. Uporaba teoretičnega znanja (imenovanega tudi tehnično) zaenkrat še ni našla široke poti na to področje.

Gradnja ekspertnega sistema je načeloma preprosta. Poiskati je treba prikladno metodo predstavitve znanja in nato znanje kakega resničnega eksperta prenesti v sistem.

Praktična izvedba le-tega pa ni niti preprosta niti hitro izvedljiva.

Glavni dejavniki pri gradnji ekspertnih sistemov so naslednji¹:

- *ekspert*: pri njem dobimo znanje; presoja tudi, ali je ekspertni sistem uspešen ali ne.
- *uporabnik*: njemu je ekspertni sistem namenjen. Z njim mu skušamo olajšati vsakodnevno delo.
- *inženir znanja*: to je nov profil v informatiki. Eksperti so namreč predvsem dobri delavci - usmerjeni strokovnjaki, nimajo pa sposobnosti oblikovanja informacij za računalniško podprte sisteme. Razpolagajo z zelo raznolikim in neformaliziranim znanjem, ki ga je treba najprej omejiti, formalizirati in zajeti, preden ga lahko vgradimo v bazo znanja. To pa je predvsem dolžnost inženirja znanja. Mora se seznaniti z mnogimi podrobnostmi z ekspertovega področja, seveda pa mora tudi obvladati "jezik" ekspertnih sistemov.

Kljub nekaterim težavam so ekspertni sistemi prvi in najuspešnejši projekt umetne inteligence, ki je leta in leta tavalala v temi med praktičnimi problemi in njihovo realizacijo.

2.2.2 Ekspertni sistemi pri preoblikovanju

Poleg standardnih tehničnih problemov, ki se pojavljajo pri razvoju ekspertnih sistemov (gradnja ekspertnega sistema, predstavitev znanja...), pride pri kalibriranju še posebno do izraza problem predstavitve oziroma opisovanja oblike profila ali kalibra¹.

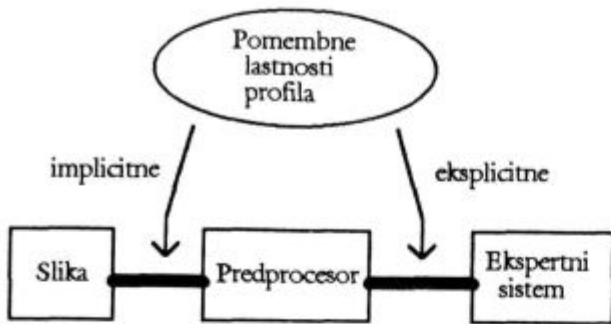
Pri kalibriranju dela kalibrer stalno s slikami profilov oziroma kalibrov. Le-te razume, to pomeni, da jih zna v vsakem trenutku točno kvalitativno in kvantitativno opisati. Temu pravimo v umetni inteligenci razumevanje slike¹. Obstajata vsaj dve možnosti, kako realizirati razumevanje slike v računalniku¹:

- (a) z *dopolnitvijo običajnih tehnik razpoznavanja vzorcev* (posredovanje slike kot zaporedja ničel in enic)
- (b) z *repertoarjem možnih lastnosti*, skupaj z metodo, ki bi jo lahko imenovali *razpoznavanje z generiranjem*; ta metoda se v zadnjem času čedalje bolj uveljavlja.

Naloga, ki bi jo moral ekspertni sistem za kalibriranje najprej rešiti, bi bilo torej spoznanje že znane oblike, ali pa izoliranje tistih elementov oblike, ki imajo največji vpliv na razvijajočo kalibrsko vrsto. *Razumevanje je v tem primeru vsekakor ciljno usmerjena aktivnost*, cilj pa je iskanje značilnosti elementov oblike. Ali so to ukrivljenosti, izbokline, vdrtine, preseki, ekscentričnosti sami, ali v kakršni koli kombinaciji - tega seveda ne moremo vedeti vnaprej.

Iz strokovne literature je možno razbrati, da obstaja veliko pravil, ki narekujejo postopek kalibriranja. Pravo vsebino pravil pa lahko določimo seveda šele po intenzivnem in ponavadi dolgotrajnem sodelovanju s pravim ekspertom.

Rezultati takšnega sodelovanja se kažejo v¹:



Slika 2: Zgradba ekspertnega sistema za kalibriranje
Figure 2: Scheme of expert system for calibration

- (a) razločevanju pomembnih in nepomembnih lastnosti profila
- (b) zmanjševanju številčnosti elementov, ki določajo obliko profila in
- (c) oblikovanju pravil in strategij postopka kalibriranja.

Slika 2 prikazuje potrebno strukturo ekspertnega sistema za kalibriranje. Slika končnega profila obdela predprocesor, ki izloči iz nje pomembne lastnosti; tako nastali kvalitativen in kvantitativen opis profila predstavlja vhodno informacijo v pravi ekspertni sistem¹.

3 Oblikovanje pravil kalibriranja

V prejšnjem poglavju je bilo ugotovljeno, da je eden od bistvenih pogojev za uspešno delovanje ekspertnega sistema oblikovanje pravil postopka kalibriranja. Vir znanja pri oblikovanju pravil sta strokovna literatura in predvsem ekspert - kalibrer.

Obstaja več konceptov sistematizacije pravil kalibriranja, mi pa smo se odločili za koncept, katerega bistvo je, da celoten postopek izvaljanja profila od gredice do končnega profila razdeli na tri faze:

- faza, v kateri damo profilu grobo obliko
- faza, v kateri obliko postopno približujemo zahtevani obliki
- faza, v kateri zagotovimo končno obliko in dimenzije.

Tej delitvi primerno so tudi pravila kalibriranja razdeljena na štiri odgovarjajoče skupine, ki naj se imenujejo:

- I. Splošna pravila kalibriranja
- II. Pravila za pripravljalni del kalibrirske vrste
- III. Pravila za srednji del kalibrirske vrste
- IV. Pravila za končni del kalibrirske vrste.

Znotraj teh skupin pa so pravila razdeljena še v tri podskupine, in sicer:

- A. Pravila o deformaciji in toku materiala med preoblikovanjem
- B. Pravila o projektiranju kalibrov in valjev
- C. Pravila o valjarski armaturi.

Hipotetičen princip kalibriranja v primeru takšne razdelitve pravil je prikazan na sliki 3, vendar pa kalibriranje v praksi ni tako idealno. Med svojim delom kalibrer večkrat zaide v slepo ulico in se mora vračati na začetno točko. Namen pravil kalibriranja in na njih osnovanega ekspertnega sistema pa je ravno v tem, da fazo kalibriranja časovno pospešijo, kalibrerju pa olajšajo, poenostavijo in vodijo delo. Trenutno število zbranih pravil je 103⁶, podana pa so v obliki kratkih zaključenih povedi (stavkov). Kjer je bilo lažje, so pravila podana v tabelarni ali slikovni obliki. Če pogledamo zasedenost posameznih skupin pravil kalibriranja, ugotovimo, da je najbolj zasedena skupina I. V tej so splošna pravila kalibriranja, ki so v pomoč pri konstruiranju celotne kalibrirske vrste. To je tudi razumljivo, saj so pravila, ki so predstavljena oziroma "skrita" v strokovni literaturi, podana v zelo splošni obliki in ponavadi izhajajo iz čisto teoretičnih osnov (na primer pravilo o tečenju materiala z mest z manjšo hitrostjo na mesta z večjo hitrostjo ali pa pravilo o maksimalni možni redukciji).



Slika 3: Princip uporabe pravil kalibriranja
Figure 3: Principle of using calibration rules

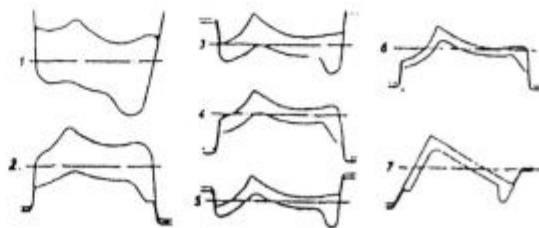
Manjše je število pravil v skupinah II, III in IV. Ta se nanašajo na posamezne dele kalibrirske vrste. Manjše število teh pravil je normalno, saj te skupine zajemajo že bolj specializirana področja kalibrerjevega praktičnega znanja. Natančna razmejitev pravil, ki sodijo v skupine II, III ali IV je seveda skrajno težavna, vendar se lahko zadovoljimo z grobo delitvijo, po kateri zajema skupina II pravila za konstruiranje prvih dveh (treh) kalibrov, skupina IV pa pravila za konstruiranje predkončnega in končnega kalibra. Skupina III zadeva vse druge vmesne kalibre ali situacije.

Natančna razmejitev pravil, ki sodijo v skupine II, III ali IV je seveda skrajno težavna, vendar se lahko zadovoljimo z grobo delitvijo, po kateri zajema skupina II pravila za konstruiranje prvih dveh (treh) kalibrov, skupina IV pa pravila za konstruiranje predkončnega in končnega kalibra. Skupina III zadeva vse druge vmesne kalibre ali situacije.

Natančna razmejitev pravil, ki sodijo v skupine II, III ali IV je seveda skrajno težavna, vendar se lahko zadovoljimo z grobo delitvijo, po kateri zajema skupina II pravila za konstruiranje prvih dveh (treh) kalibrov, skupina IV pa pravila za konstruiranje predkončnega in končnega kalibra. Skupina III zadeva vse druge vmesne kalibre ali situacije.

4 Aplikacije pravil na izdelkih

V nadaljevanju bomo skušali določena pravila iz podskupin A in B (pravila o deformaciji in toku materiala ter pravila o projektiranju kalibrov) uporabiti pri konkretnem profilu. Kalibrirska vrsta za ta profil je bila v preteklosti že razvita in tudi uspešno realizirana v praksi.



Slika 4: Kalibrirska vrsta za kotnik 153 x 89 z izboklino
Figure 4: Calibration for angle 153 x 89 with a bulb

Zanimivo bo videti, ali je možno "naša" pravila kalibriranja "videti" tudi v pričujoči kalibrski vrsti.

4.1 Raznokraki kotnik z izboklino

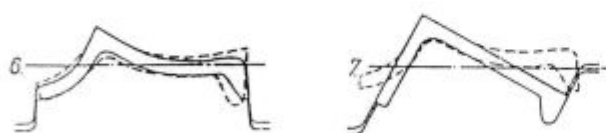
Ogledali si bomo raznokraki kotnik 153 x 89 z detajlom (izboklino) na koncu daljšega kraka⁵ (slika 4). Pri razvijanju kalibrske vrste so si kalibrerji sicer lahko pomagali s standardnimi kalibrskimi vrstami za raznokrake kotnike, vendar pa so morali upoštevati tudi specifičnosti, ki jih pogojuje izboklina oziroma detajl na koncu kraka.

Predpostavljamo lahko, da pri konstruiranju te kalibrske vrste velja večina splošnih pravil kalibriranja iz skupine I (splošna pravila kalibriranja).

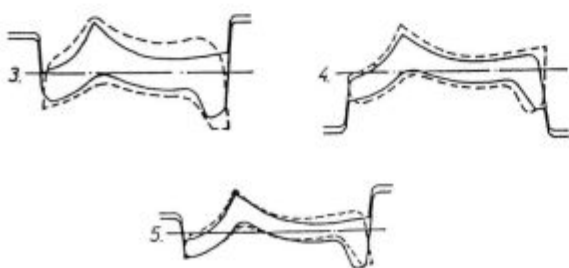
V kakšni meri lahko uporabimo pravila iz skupin II, III in IV, pa kaže analiza posameznih delov kalibrske vrste.

(1) Končni in predkončni kaliber (slika 5):

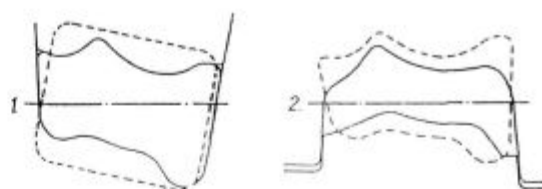
- višinska in bočna redukcija sta v obeh kalibrskih minimalni (IV.A3, IV.A4)
- neenakomerna redukcija po širini obeh kalibrov je zanemarljiva (IV.A5)
- pozicija končnega kalibra je takšna, da sta oba končna dela kalibra približno v isti višini (IV.B1)
- detajl na desni strani profila je v končnem kalibru obdelan v zaprtem delu (IV.B4)
- oster vogal na stičišču krakov je zagotovljen z nekoliko izrazitejšo višinsko redukcijo na tem delu kalibra (IV.B3) - profil je brez izrazitih stranskih ploskev, zato ni krčilnega kalibra (IV.B6)
- pozicija predkončnega kalibra je takšna, da v odnosu na končni kaliber zagotavlja izmenično obdelavo posameznih delov profila - v ta namen sta kraka primerno zvita (I.A17 - pravilo sicer izhaja iz



Slika 5: Končni (7.) in predkončni (6.) kaliber
Figure 5: Final (7.) and prefinal (6.) caliber



Slika 6: Srednji del kalibrske vrste
Figure 6: Middle part of calibration



Slika 7: Pripravljalni del kalibrske vrste
Figure 7: Preparing calibers

skupine I, vendar odločilno vpliva na položaj predkončnega kalibra)

- predpostavimo lahko, da na valjih ogrodja, na katerem sta nameščena oba kalibra, ni podpritiska ali nadpritiska (IV.B8).
- (2) Srednji del kalibrske vrste (slika 6):
- srednji koeficient podaljšanja raste od (pred)končnega kalibra proti začetnemu (III.A3; pravilo lahko preverimo le vizualno)
 - deformacija po širini kalibra je v tem delu kalibrske vrste kar se da enakomerna (III.A4)
 - krčilnih kalibrov ni (III.B4)
 - nagib stranic se večja proti začetnemu kalibru (III.B5)
 - predpostavimo lahko, da pritisk na valjih, na katerih se nahajajo kalibri, ne presega vrednosti 1%.
- (3) Pripravljalni del kalibrske vrste (slika 7):
- redukcije (višinske ali bočne) so v pripravljalnem delu kalibrske vrste največje (II.A6, II.A7, II.A8)
 - v prvih dveh (treh) kalibrskih je opravljen večji del neenakomerne deformacije po širini profila (II.A9)
 - kalibri so konstruirani tako, da neenakomerno deformacijo izvedemo v razprtem položaju (II.B1)
 - nagib stranic na drugem kalibru je maksimalen - okoli 50% ali celo več (II.B4)
 - vhodni profil je ploščat in je nagnjen na desno stran - tako lažje zapolnimo spodnji desni kritični vogal v prvem kalibru in zagotovimo dovolj materiala za kasnejšo končno obdelavo tega dela profila (II.A5).

5 Komentar in sklepi

Strokovna literatura in diskusije z eksperti nam povedo, da obstaja velika množica pravil, ki narekujejo postopek kalibriranja. Do sedaj so bila ta pravila zavestno ali podzavestno oblikovana le v glavah kalibrerjev-ekspertov. Le-ti so na podlagi dolgoletnih izkušenj do potankosti obvladovali postopke kalibriranja profilov bolj ali manj zapletenih oblik.

Zbrana pravila smo skušali čim bolj enostavno oblikovati in sistematizirati. Pri tem smo se morali odločiti med dvema konceptoma sistematizacije pravil. Prvi narekuje delitev pravil glede na skupine profilov s karakterističnimi lastnostmi, ki najbolj vplivajo na razvoj kalibrske vrste. Brez delovnih izkušenj, le s strokovno lite-

raturu, pa je lastnosti profilov težko opredeljevati kot bolj ali manj pomembne, zato je tudi profile težko smiselno razdeliti na skupine, kar pa je prvi pogoj za uporabo omenjenega koncepta. Zato smo se odločili za drug koncept in pravila kalibriranja razdelili glede na posamezne faze procesa valjanja profila. Ob takem konceptu je bila literatura v večjo pomoč, lažje pa je bilo tudi opredeliti področja, ki jih posamezna skupina pravil zajema. Tako smo pravila glede na fazo valjanja razdelili na štiri glavne skupine (Splošna pravila kalibriranja, Pravila za pripravljalni del kalibrirske vrste, Pravila za srednji del kalibrirske vrste in Pravila za končni del kalibrirske vrste) glede na področje kalibriranja, ki ga zajemajo, pa še na tri podskupine (Pravila o deformaciji in toku materiala med preoblikovanjem, Pravila o projektiranju kalibrov in valjev ter Pravila o valjarski armaturi).

Velika večina vseh zbranih pravil je uporabnih pri kalibriranju vseh vrst profilov (94 pravil), manj pa je specializiranih pravil, ki se uporabljajo le pri kalibriranju npr. tračnic (2 pravili) ali profilov I (7 pravil). Skupno število vseh pravil in njihovo razmerje bi bilo v primeru sodelovanja kalibrerja - eksperta povsem drugačno, saj bi le-ta lahko posredoval številna specializirana pravila, ki jih je izoblikoval v svoji dolgoletni poklicni karieri.

Uporabnost zbranih pravil smo preverili še pri konkretnem profilu (raznokraki kotnik z izboklino). Pri tem ni šlo toliko za natančne preračune kalibrov, ampak bolj

za osnovne principe razvijanja kalibrskih vrst. Ugotovimo lahko, da je bila kalibrirska vrsta za izbrani profil konstruirana z najmanj polovico od 103. zbranih pravil.

Težava, ki se zaradi neformaliziranega znanja kalibrerjev-ekspertov tudi pojavlja, pa je prenos znanja na prihodnje generacije kalibrerjev. Današnji trenutek v slovenskih valjarnah je namreč tak, da starejši kalibrerji odhajajo, znanje pa z njimi. Zato bi bila izgradnja ekspertnega sistema v naših pogojih tudi enkratna priložnost, da se zajeto znanje posreduje novi generaciji slovenskih kalibrerjev in jim omogoči kvalitetnejše delo.

6 Literatura

- ¹ R. Turk, P. Bradač, M. Terčelj, I. Čretnik, F. Kaučič, I. Končan: Gradnja informacijskega sistema za izračun kalibrskih vrst, *Interni poročilo, Univerza v Ljubljani, FNT, VTO Montanistika*, Ljubljana, 1988
- ² M. Čaušević: Obrada metala valjanjem, Veselin Masleša, Sarajevo, 1983
- ³ F. Kösters: Kalibrieren von schweren Profilen, Verlag Stahleisen, Düsseldorf, 1971
- ⁴ J. Vojkovsky, J. Veščičik, A. Velsovsky: Priručka kalibréra ve válcovné profilu, SNTL, Praga, 1968
- ⁵ R. E. Beynon: Roll Design and Mill Layout, Association of Iron & Steel Engineers, Pittsburgh, 1956
- ⁶ B. Kumer: Oblikovanje pravil kalibriranja za ekspertne sisteme, *Diplomsko delo, Univerza v Ljubljani, FNT, VTO Montanistika*, Ljubljana, 1994