

Računalniško vodenje sistema za testiranje gradbenih elementov

Matija Krajnc, univ. dipl. gosp. inž.

TELEM Inženiring, Avtomatizacija, Zastopstva d.o.o.

V Borovju 8, SI-2000 Maribor, Slovenija, www.telem.si

matija.krajnc@telem.si

Testing of Constructional Elements with Computer Aided System

Project is based on a computer aided system for testing constructional elements. In this article the two methods of testing, that were used, are described in detail. The method of static testing is a method where the testee an optional time is being exposed to a constant force. The second method, the dynamic testing, is a method where the testee is being exposed to a pulsating force. The purpose and result of both methods is the certificate of suitability for constructional elements.

1 Uvod

Laboratorijski projekt, ki je temelj opisa v tem članku, je projekt, pri katerem uporabnik s pomočjo sofisticiranega računalniškega sistema testira in ugotavlja ustreznost gradbenih elementov. Naročnik projekta je bila Univerza v Mariboru, Fakulteta za gradbeništvo, ki je tudi končni uporabnik sistema. Temeljni razlog, da se je projekt sploh udeležil v praksi, je bila nadgradnja obstoječega sistema, ki zaradi zastarelosti ni več omogočal in zagotavljal potreb uporabnika. Sam sistem v celoti poganja hidravlika, ki skrbi za vso potrebno moč in odzivnost za izvajanje testiranja. Za pravilno odzivanje sistema, akvizicijo in arhiviranje podatkov skrbi programska oprema NI¹ LabView 7.1, ki je hrbenica celotnega sistema.

Zahteva naročnika, ki je tudi realizirana, je bila, da se vzpostavi sistem računalniškega

vodenja z akvizicijo podatkov. Sistem mora omogočati dve metodi testiranja gradbenih elementov, in sicer statično ter dinamično. Za statično metodo testiranja elementov se smatra, da se testiranec izpostavlja konstantni sili v poljubno izbranem časovnem okviru. Algoritem izpostavljanja testiranca določi uporabnik predhodno ali pa sproti spreminja vršече se obremenitve. Dinamična metoda testiranja je kot drugi del projekta, preizkus, pri katerem testiranec izpostavlja pulzirajoči sili. Potek obremenjevanja izbere in določi uporabnik pred samim izvajanjem testiranja.

Rezultat obeh metod testiranja je certifikat ustreznosti za gradbeni element, ki je uspešno preстал niz testiranj.

2 Sistemske zahteve s strojniškega vidika

Da sistem deluje in zadovoljuje potrebe naročnika, je za način pogona, zaradi vseh svojih dobrih lastnosti, bila izbrana hidravlika. Pri tem projektu lahko hidravliko ločimo na dva segmenta, in sicer pogonski ter krmilni del. Pogonski del (agregat) vsebuje dva elektromotorja, pri čemer elektromotor manjše moči deluje pri statični metodi testiranja, elektromotor večje moči pa deluje pri dinamičnem testiranju elementov.

Kar se tiče krmilnega dela (hidravlični blok), celoto sestavlja proporcionalni ventil pretoka, ki deluje v napetostnem območju $\pm 10V$ in tlačna senzorja, ki delujeta zaradi večje natančnosti vsak v svojem področju. Meja za delovanje tlačnih senzorjev je $40bar$, kar pomeni, da pod tem nivojem deluje tlačni senzor $p1$, ki pa se po presegu te meje izključi in merjenje nadomesti

¹ NI – National Instruments (firma, ki se ukvarja z razvojem in distribucijo programske in strojne opreme)

tlačni senzor p_2 . Merjenje pomika hidravličnega bata (deformacija testiranca), se izvaja s pomočjo zelo natančne merilne letve, ki je pritrjena na glavni cilindar. Merilna letev meri pomik na 5 μm natančno. Njen električni izhod je inkrementalni števec, s katerega se meritve prenesejo na računalnik.

3 Sistemske zahteve z vidika avtomatike

Na področju avtomatike se srečamo z zahtevo natančne akvizicije podatkov in hitrih regulacijskih interakcijah. Posledično se je zaradi teh predpostavk izbral programski paket LabView, ki slednje tudi omogoča. Programski paket je verzije 7.1 in omogoča programiranje na osebem računalniku s pomočjo grafičnega vmesnika. Uporabljene vhodno – izhodne kartice so več funkcijske, kar pomeni, da posamezna kartica omogoča priklop digitalnih in analognih vhodov ter izhodov.

Da vse deluje stabilno in relativno hitro, je potreben tudi dovolj zmogljiv osebni računalnik. Izbran računalnik vsebuje Intel Pentium IV procesor s 3GHz taktom, ki omogoča hiper trading. Za olajšano izvajanje celotnega sistema skrbi tudi hitri delovni pomnilnik kapacitete 1GB. Celotno delovanje temelji na operacijskem sistemu Microsoft Windows XP Professional.

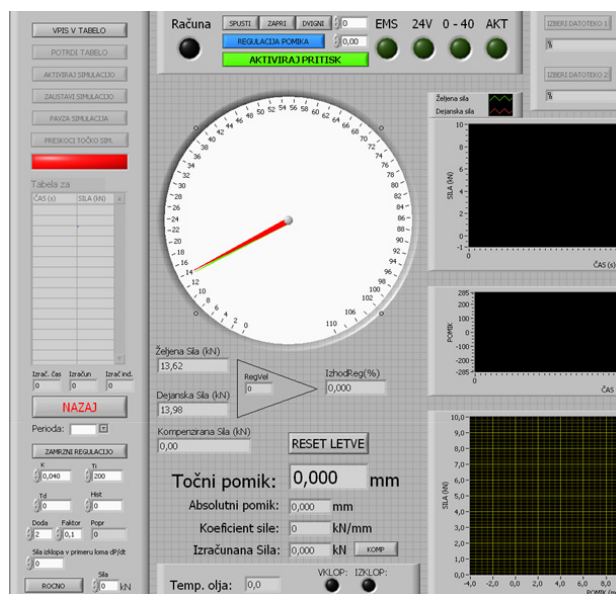
4 Metode testiranja elementov

Kot je v uvodu že navedeno se testiranje gradbenih elementov izvaja s pomočjo statične in dinamične metode testiranja.

4.1 Statična metoda testiranja

Pri statični metodi testiranja se opravlja preizkus in testiranje gradbenih elementov z obremenjevanjem le-teh s konstantno silo nek poljuben čas.

Pri tej metodi testiranec postavimo na testirno mesto, to je med hidravlični bat in podlogo, ki je konstrukcijsko ojačana. Uporabnik vse akcije izvaja iz vmesniškega okna, ki je prikazano na sliki 1.



Slika 1: Prikaz vmesniškega okna za statično metodo testiranja

Preden uporabnik lahko prične s testiranjem, mora zadostiti vsem sistemskim in programskim zahtevam.

Najprej se po postavljenem testirancu in vklopu sistema odloči ali bo element preizkušal ročno ali pa bo vpisal algoritem izvajanja. V primeru ročnega testiranja elementa, mora uporabnik pritisniti tipko »ROČNO KRMILJENJE«, kar omogoča uporabniku poljubno spreminjanje željenega tlaka. Spreminjanje tlaka, se izvaja glede na regulacijske parametre, ki so že vpisani v oknih »K«, »Ti«, »Td« in »Hist« ali pa uporabnik vpiše lastne vrednosti (vpis ni priporočljiv, če uporabnik ne obvlada osnov regulacij). Željen tlak, ki se izvaja na testiranec, uporabnik vpisuje zraven tipke »ROCNO«. Pri tem mora uporabnik paziti na to kaj vpiše, da se merjenec ne poškoduje.

V primeru, če se uporabnik odloči za avtomatsko izvajanje, mora onemogočiti morebitno ročno izvajanje s pritiskom na tipko »ROCNO« in nato še s pritiskom na tipko »VPIŠI V TABELO« omogoči vpis algoritma. Tabela na levi strani vmesniškega okna (Slika 1) postane aktivna in uporabnik lahko vpiše vrednosti časa in sil. Vpisane vrednosti pri časih pomenijo čas, pri katerem se morajo doseči izbrane sile. Sledeča akcija je izbira poti, kjer se

bodo podatki shranili. Uporabnik ima na voljo izbiro dveh poti, kjer se bo kreirala datoteka, in sicer:

- »Datoteka 1«, kjer se zapisujejo aktualne vrednosti časa, željene sile, dejanske sile in pomika glede na izbrano periodo. Perioda vpisovanja podatkov se lahko vpiše od 100ms do 5s in

- »Datoteka 2«, ki je podatkovni prostor kamor se zapisujejo vrednosti časa, željene sile, dejanske sile in pomika, kadar pride do spremembe vrednosti.

Po vpisani tabeli in ustrezno izbranih poteh za shranjevanje podatkov, uporabnik nadaljuje s pritiskom na tipko »POTRDI TABELO«. Ob pravilnem vpisu vrednosti in poti shranjevanja, program omogoči nadaljevanje testiranja. Pred testiranjem je zelo pomembno, da uporabnik vpiše parameter, ki služi varnosti (»Sila izklopa v primeru loma dP/dt «). Ta varnostni parameter omogoča izklop sistema v primeru, kadar pride do prevelike spremembe tlaka v določenem času, kar pomeni, da je prišlo do porušitve materiala in tako posledično onemogočimo potencialno uničenje hidravličnega bata.

Ko je priprava za testiranje izvedena, lahko uporabnik prične z interakcijo sistema. Interakcija se prične s pritiskom na tipko »AKTIVIRAJ PRITISK«. Takrat se sistemski tlak prenese na hidravlični bat. Da se vršenje sile na testiranec lahko prične, se mora najprej batnica približati testirancu. Z vidika avtomatizacije se prične izvajati regulacija pomika. To akcijo uporabnik prične s pritiskom na tipko »REGULACIJA POMIKA« in se z uporabo tipk »SPUSTI«, »ZAPRI« in »DVIGNI« prične z batnico približevati testirancu. Ko se batnica približa testirancu, uporabnik pritisne ponovno na tipko »REGULACIJA POMIKA« in regulacija pomika se spremeni v tlačno regulacijo. Po tej akciji je potrebno sistem postaviti v začetno točko. Slednje pomeni, da se morajo trenutne vrednosti kompenzirati za začetni tlak in začetni pomik. To se stori s pomočjo tipke »RESET LETVE«. Vrednost dejanskega tlaka in pomika se postavi na vrednost 0. Tlak, ki je nastal pred

resetom letve, se vpiše v polje »Kompenzirana Sila« in se upošteva ves čas testiranja elementa.

Pri samem testiranju mora uporabnik biti pozoren na polja, kjer je vpisan »Točni pomik« in »Absolutni pomik«. Slednji je pomemben za varnost celotnega sistema, saj se hidravlični bat ne sme premakniti od začetne lege za več kot 250mm. V kolikor se ta vrednost preseže, se lahko hidravlični cilinder trajno poškoduje.

Ko je hidravlični cilinder v začetni legi in ko so nastavljeni vsi začetni parametri, se lahko začne avtomatsko preizkušanje gradbenega elementa. Samo testiranje se izvaja s štirimi tipkami, in sicer:

- »AKTIVIRAJ SIMULACIJO«,
- »ZAUSTAVI SIMULACIJO«,
- »PAVZA SIMULACIJA« in
- »PRESKOČI TOČKO SIM.«.

Pričetek testiranja se prične s pritiskom na tipko »AKTIVIRAJ SIMULACIJO«. Uporabnik lahko sproti spremlja vse spremembe sil na testiranec v časovnih diagramih. Morebitno odstopanje od zastavljenega, lahko uporabnik prekine s tipko »ZAUSTAVI SIMULACIJO«. Če se želi uporabnik ustaviti v katerikoli točki algoritma, pritisne na tipko »PAVZA SIMULACIJA« in kadar želi nadaljevati, pritisne ponovno na isto tipko. V primeru, kadar uporabnik ne želi testirati elementa v določeni točki ali pride v tej točki do prevelikega nihanja, se enostavno s pritiskom na tipko »PRESKOČI TOČKO SIM.« aktualna točka izpusti in testiranje se nadaljuje z naslednjo točko.

Med samim testiranjem elementov se lahko v vmesniškem oknu spremlja časovni potek sile (v kN) in pomik (v mm) ter odvisnost sile od pomika.

Opis regulacije

Za regulacijo tlaka se uporablja zaprto znančni PID regulator. To pomeni, da regulator neprestano primerja razliko med želeno in dejansko silo. Če je razlika med želeno in dejansko silo pozitivna, se izhod regulatorja

povečuje in s tem odpira proporcionalni ventil pretoka. Ker je proporcionalni ventil preveč odprt, ko dejanska sila doseže željeno vrednost, pride do prenehaja in regulator prične zapirati ventil pretoka. Ko se dejanska vrednost izniha, se regulator umiri in drži željeno vrednost.

Ker silo reguliramo preko proporcionalnega ventila pretoka, imamo majhen K^2 (0,02), da je čim manjši prenehaj in velik Ti^3 (400s), da se odpravi statični pogrešek. Zaradi dokaj velikega I člena je počasen odziv regulatorja. Td^4 je nastavljen na 0s, ker proporcionalni ventil pretoka ne dovoli hitrega odziva regulatorja. Histereza regulatorja (0,05), pove pri kakšni razliki med željeno in dejansko silo regulator računa novo vrednost na izhodu oz. pri kakšni razliki regulator ne bo računal in bo držal vrednost.

Funkcija po kateri regulator računa izhod, glede na vhodne parametre je podana spodaj (1):

```

q0=K*(1+(Td/T0));
q1=-K*(1+(2*Td/T0)-(T0/Ti));
q2=K*Td/T0;
if ( Akt==1 && Akt_Pom==0 )
{
  Yk_1=Zac;
  Y=Zac;
}
Akt_Pom=Akt;
if( zel-dej>Rac || zel-dej<-Rac )
{
  elk_2l=elk_1l;
  elk_1l=elkl;
  elkl=zel-dej;
  Yk_1=Y;
}
if( zel-dej>=20 || zel-dej<=-20 )
{
  if ( zel-dej>=0 ) {X_dod=1;}
  if ( zel-dej<0 ) {X_dod=-1;}
}
if( zel-dej<10 || zel-dej>-10 || Akt==0 ) {X_dod=0;}

```

² K – ojačanje regulatorja

³ Ti – čas integracije

⁴ Td – čas diferenciacije

```

elk_2l=elk_2l*Akt*Zam;
elk_1l=elk_1l*Akt*Zam;
elkl=elkl*Akt*Zam;
Yk_1=Yk_1*Akt;
Y=Yk_1 + q0 * elkl + q1 * elk_1l + q2 * elk_2l + X_dod * 0,1;
if(Y>100)
Y = 100;
if(Y<-100)
Y = -100;

```

(1)

Ker je bila potrebna večja hitrost regulacije, ne da bi se povečal prenehaj, je regulatorju dodana še ena funkcija. Ta funkcija ima vlogo krmiljenja hidravličnega cilindra glede na razliko med željeno in dejansko vrednostjo sile. Če je razlika med željeno in dejansko vrednostjo večja od 2 kN, se prišteje vrednosti izhoda regulatorja, še vrednost, ki se določi s parametri (2).

Logika krmilja:

```

if ( Akt==1 )
{
  if ( abs( Raz ) < Prim )
  { DodVred=0;
  }
  if ( Raz >= Prim )
  { DodVred=(Raz-Prim)*Fakt;
  }
  if ( Raz <= -Prim )
  { DodVred=(Raz+Prim)*Fakt;
  }
}
if ( Akt==0 ) {DodVred=0;}
Out=Vhod+DodVred;

```

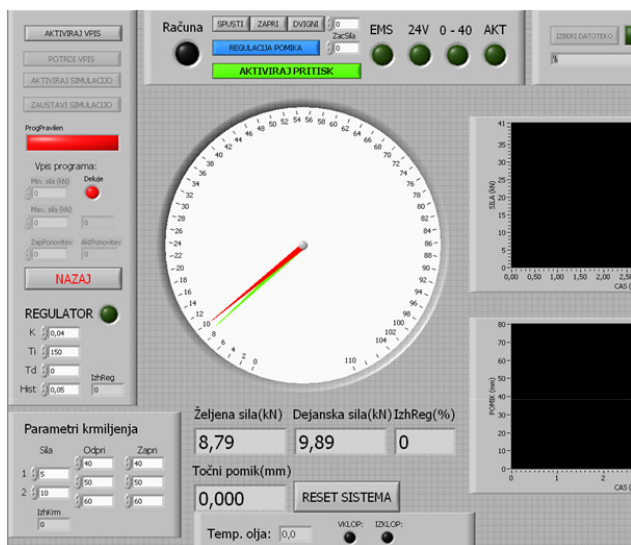
(2)

4.2 Dinamična metoda testiranja

Pri tej metodi gradbeni element izpostavljam pulzirajoči sili, kateri meje in trajanje izbere uporabnik sam.

Ko uporabnik postavi gradbeni element na testirno mesto in vklopi sistem računalniškega vodenja, se pojavi naslednje vmesniško okno.

Tudi pri tej metodi mora uporabnik, preden prične s testiranjem, zadostiti vsem sistemskim in programskim zahtevam.



Slika 2: Prikaz vmesniškega okna za dinamično metodo testiranja

Slednje pomeni, da mora uporabnik najprej vpisati program po katerem se bo izvajalo preizkušanje elementa. Program se vpiše po naslednjih korakih:

- Pritisne se tipka "AKTIVIRAJ VPIS". Nato se polja za program aktivirajo. Ta polja so: »Min. sila (kN)«, »Max. sila (kN)«, »ZapPonovitev« in »IZBERI DATOTEKO« (Slika 2).

- V polje »Min. sila« in »Max. sila« se vpišeta minimalna in maksimalna sila s katero bo obremenjen merjenec.

- V polje »ZapPonovitev« se vpiše število ciklov, s katerimi se bo merjenec obremenjeval.

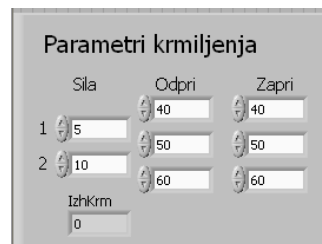
- V polju »Izberi datoteko« se izbere datoteka v katero se bodo vpisovali merilni rezultati.

Po tem postopku je potrebno vpis potrditi. Podobno kot pri statični metodi testiranja, se tudi tukaj mora batnica naprej približati testirancu in ko je dovolj blizu, se pritisne tipka »RESET SISTEM«. Vrednost dejanske sile in točnega pomika se postavi na 0. Kompenzirana sila dobi vrednost začetne sile in se upošteva ves čas preizkušanja elementa. Čeprav se podatek o absolutnem pomiku ne prikazuje, se upošteva pri varnosti. Pomik batnice ne sme biti večji od 250mm od začetne lege, saj se lahko hidravlični cilinder trajno poškoduje.

Ko uporabnik zadosti vsem sistemskim zahtevam, lahko prične z dinamično metodo testiranja. To stori s pomočjo tipke »AKTIVIRAJ SIMULACIJO«. Program se po uspešno opravljenem testu ustavi sam ali pa se lahko prekine s pomočjo tipke »ZAUŠTAVI SIMULACIJO«. Med samim izvajanjem preizkušanja se PID regulacija izključi, saj se linearni ventil pretoka krmili s primerjavo doseženih tlakov. Ko se simulacija konča, se ponovno vklopi PID regulacija.

Opis krmiljenja

Ko imamo aktivirano regulacijo sile in se aktivira simulacija testiranja, se PID regulacija izklopi in se za krmiljenje sile v sistemu, uporablja primerjanje željene in dejanske sile. Dejansko se pri tem načinu krmiljenja, linearni ventil pretoka odpira v odvisnosti od razlike med željeno in dejansko silo. Vrednosti za koliko se ventil odpira so vpisane v naslednja polja (Slika 3):



Slika 3: Vpis parametrov krmiljenja

- »Sila«: V polji 1 in 2 se vpiše sila pri kateri se bo linearni ventil pretoka odprl za točno določeno vrednost, ki so prikazane v poljih »Odpri« in »Zapri«.

- »Odpri«: V ta tri polja se vpiše željena odprtost ventila, ko hidravlični cilinder tlači testiraneč. V prvo polje (od zgoraj navzdol) se vpiše odprtost ventila, ko je dejanska sila manjša od željene sile za manj, kot je vpisano v polju 1 (»Sila«). V drugo polje se vpiše odprtost ventila, ko je dejanska sila manjša od željene sile za manj, kot je vpisano v polju 2 (»Sila«) in večja za več, kot je vpisano v polju 1 (»Sila«). V tretje polje (od zgoraj navzdol) se vpiše odprtost ventila, ko je dejanska sila manjša od željene sile za več, kot je vpisano v polju 2 (»Sila«).

- »Zapri«: V ta tri polja se vpiše željena odprtost ventila, ko hidravlični cilinder sprošča merjenec. V prvo polje (od zgoraj navzdol) se vpiše odprtost ventila, ko je dejanska sila večja od željene sile za manj, kot je vpisano v polju 1 (»Sila«). V drugo polje se vpiše odprtost ventila, ko je dejanska sila večja od željene sile za več, kot je vpisano v polju 1 (»Sila«) in manjša za manj, kot je vpisano v polju 2 (»Sila«). V tretje polje (od zgoraj navzdol) se vpiše odprtost ventila, ko je dejanska sila večja od željene sile za več, kot je vpisano v polju 2 (»Sila«).

Ko je program aktiviran, se za krmiljenje sile v sistemu uporabljajo zgoraj navedeni parametri (»Sila«, »Odpri«, »Zapri«). Pri merjencu, pri katerem pričakujemo večje deformacije, morajo biti parametri pri »Odpri« in »Zapri« večji, kot pri merjencu, ki ima manjše deformacije. Ti parametri morajo biti večji zaradi večje porabe olja.

Med samim testiranjem elementov se lahko v vmesniškem oknu spremlja časovni potek sile (v kN) in pomik (v mm).

Zelo pomembno je poudariti, da je program napisal mag. Anton Zorko univ. dipl. inž. el., kateremu pripada največ zaslug za uspešno izvedbo projekta.

5 Summary

The presented article describes how the constructional elements are being tested to acquire the certificate of suitability. Results of both methods are certified from independent accredited laboratory of metrology. Testing can be done either with static or dynamic method. The whole system can also be considered as commercial acquirement for the faculty of civil engineering because they could do testing for companies that need that kind of certificate for constructional elements.