

**RAZVOJ APLIKACIJE ZA REŠAVANJE PROBLEMA MANUELNOG RAČUNANJA  
POTROŠNJE VAZDUHA POD PRITISKOM****DEVELOPMENT OF AN APPLICATION FOR SOLVING THE PROBLEM OF MANUAL  
CALCULATION OF COMPRESSED AIR CONSUMPTION***Dejan Lazić; Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad***Oblast - INDUSTRIJSKO INŽENJERSTVO**

**Kratak sadržaj** – U ovom radu predstavljen je proces razvoja aplikacije pomoću koje se automatski obrađuju podaci dobijeni sa mernog uređaja „AirBox“. Automatskim računanjem ukupne potrošnje vazduha pod pritiskom u izabranom intervalu vremena rešen je problem dosadašnjeg, manuelnog načina računanja ukupne potrošnje vazduha pod pritiskom. Podaci sa mernog uređaja AirBox, koji se koristio za potrebe ovog rada, se konvertuju u CSV tip fajla i uvoze u razvijenu aplikaciju. Izvršena je validacija dobijenih rezultata.

**Ključne reči:** Pneumatika, Potrošnja vazduha pod pritiskom, Razvoj aplikacije, Energetska efikasnost

**Abstract** – This paper presents the process of developing of the application that automatically processes data obtained from an "Air Box" measuring device. The total compressed air consumption in the selected interval time is calculated. In this way, the problem of the previous, manual way of calculating the total compressed air consumption was solved. The data from the AirBox measuring device, which are used for the purposes of this work, are converted into a CSV file type and imported into a developed application. Validation of the obtained results was performed

**Keywords:** Pneumatic, Compressed air consumption, Application development, Energy efficiency

**1. UVOD**

Vazduh pod pritiskom (VPP) je jedan od najrasprostanjenijih oblika energije koji se koristi u industriji. Zadatak pneumatskog sistema za distribuciju VPP je da isporuči VPP odgovarajućeg kvaliteta da bi sistem ispunio projektovane radne karakteristike. Problem nastaje ukoliko se na postojeći sistem samo dodaju komponente ili se pak ne obraća pažnja na curenja VPP. U tom slučaju sistem mora da kompenzuje dodatnu potrošnju VPP što osim povećanja troškova dovodi i do većeg opterećenja kompresorskog sistema i mogućnosti da sistem ne radi u projektovanom režimu.

U situaciji kada troškovi energenata rastu kao i sve većem zalaganju za zaštitu životne sredine mora se posebna pažnja obratiti na smanjenje potrošnje a samim tim i smanjenje troškova.

**NAPOMENA:**

**Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio dr Jovan Šulc, vanr. prof.**

Troškovi energije čine oko 75% ukupnih troškova životnog ciklusa u jednom sistemu VPP, a samo za proizvodnju VPP u EU se troši približno 10% od ukupno proizvedene električne energije u industriji [1]. Iz tih razloga Evropska komisija pokrenula je program 2003. godine koji ima za cilj da skrene pažnju na važnost uštede energije u različitim sistemima, uključujući tu i sisteme sa VPP [2]. Dobar deo od ukupno proizvedenog VPP se na razne načine izgubi. Najveći gubici su prouzrokovani curenjem VPP i oni prosečno čine 25-30 % od ukupne potrošnje VPP, mada u pojedinim sistemima mogu da dostignu udeo i od 30 % do 60 % [1]. Nezavisno od rasta troškova proizvodnje VPP koji je neminovan, nastaje potreba za merenjem potrošnje VPP u pneumatskim sistemima u cilju povećanja energetske efikasnosti. Na taj način se jednim delom vrši kontrola troškova pneumatskih sistema kao i dodatnih troškova nastalih usled gubitaka VPP. Uvek treba težiti racionalnom korišćenju energenata. Merenje potrošnje VPP može se vršiti različitim meračima protoka a jedan od njih je integrisan u uređaj kompanije „Festo“ - AirBox.

U ovom radu prikazan je princip rada uređaja AirBox sa eksperimentalnim primerima. Dosadašnje ručno računanje potrošnje VPP, odnosno u ovom slučaju - računanje uz pomoć Excel tabela gde se veći deo posla obavlja ručno od strane korisnika, je zamenjeno razvijenom aplikacijom. Pokazano je da razvijena aplikacija olakšava proračun i smanjuje mogućnost greške prilikom računanja ukupne potrošnje VPP i znatno smanjuje vreme potrebno za dobijanje odgovarajućih rezultata.

Razvojem aplikacije je detaljno objašnjen način prikupljanja podataka, njihova obrada kao i dobijanje rezultata. Završni deo ovog rada posvećen je dokazivanju validnosti dobijenih rezultata poređenjem rezultata dobijenih korišćenjem aplikacije i dosadašnjim ručnim računanjem.

**1.1 AirBox**

Mnogi pneumatski sistemi imaju instalirane stalne merače protoka. Na slici 1, prikazan je jedan takav merač protoka - AirBox, koji omogućava da se prate potrošnja i proizvodnja VPP, kao i curenja u pneumatskim sistemima.

**1.2 Primena Air box-a pri merenju protoka**

Pomoću AirBox-a može se vršiti merenje protoka (Flow measurement) i testirati kvalitet VPP (Air quality test). Maksimalan pritisak na ulazu u AirBox je 10 bar, sa odstupanjem manjim od 100 mbar. Instaliranje i podeša-

vanje opreme za statičko merenje količine protoka VPP se vrši na sledeći način:



Slika 1. Merač protoka - Air Box

1. Povezati pripremljenu grupu sa ulazom u AirBox;
2. Priključiti AirBox na napajanje električnom energijom;
3. Dovedi pneumatsko crevo na ulaz u AirBox;
4. Drugi kraj spojiti sa sistemom, kako bi se zatvorio upravljački krug;
5. Potrebno je najpre izabrati *Flow measurement* u glavnom meniju;
6. Prilikom merenja protoka potrebno je prvo izabrati veličinu protoka, podešavanjem ručice ventila - Low (10-200 NI/min)/High (100-5000 NI/min);
7. Odabrati mod pri merenju *Static/Dynamic*:  
Statički mod podrazumeva da se protok meri dok je mašina napajana VPP, ali bez opterećenja. U principu vrši se merenje curenja vazduha. Dinamički mod podrazumeva da se mašina napaja VPP i da je opterećena (nije važno da li je puno opterećenje ili delimično). Vršiti se merenje potrošnje VPP;
8. Na displeju podesiti veličinu protoka *Low-flow/High-flow*;
9. AirBox inicijalno namešta *Low flow-Lo* za statičko merenje i *High flow-Hi* za dinamičko merenje protoka;
10. Na početku merenja sistem ne sme biti opterećen, u suprotnom dobiće se indikacija na uređaju. Ukoliko se želi dinamičko merenje protoka, nakon odabira *Dynamic* u glavnom meniju, opterećuje se mašina;
11. Merenje počinje pritiskom kontrolnog dugmeta. Na displeju su prikazane vrednosti protoka, radnog pritiska i temperature VPP;
12. Za prestanak merenja pritiska se kontrolno dugme;
13. Dobijeni podaci čuvaju se u određenom fajlu.

U nastavku je prikazana formula po kojoj se vrši ručno računanje potrošnje VPP nakon preuzimanja fajlova iz AirBoxa sa izmerenim vrednostima potrošnje VPP nekog pneumatskog sistema.

## 2. FORMULA UKUPNE POTROŠNJE VPP

Nakon preuzimanja fajla iz AirBox uređaja, potrebno je da se isti konvertuje u CSV tip fajla i nakon toga pomoću formule (1) [3], izvrši proračun ukupne potrošnje VPP (u jedinici NI).

$$Q = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n (t_i - t_{i-1}) * (q_i + q_{i-1}) \quad (1)$$

gde je:

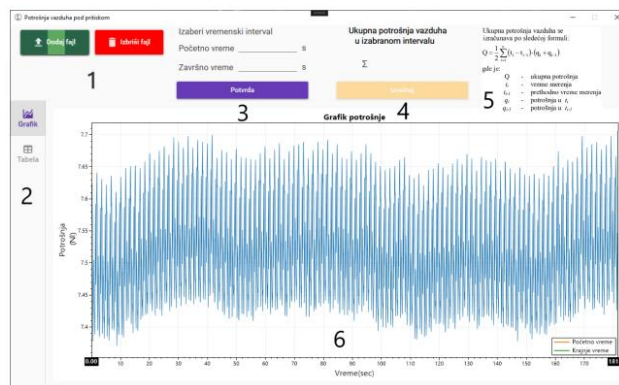
- $Q$  – ukupna potrošnja,
- $t_i$  – vreme odbirkovanja,
- $t_{i-1}$  – prethodno vreme odbirkovanja,
- $q_i$  – protok VPP u  $t_i$ ,
- $q_{i-1}$  – protok VPP u  $t_{i-1}$ .

### 2.1 Istorijat formule

U osnovi, jednačina (1) predstavlja promenu potencijalne energije sistema i može se izračunati sabiranjem proizvoda kretanja fluida u trenutku  $i$  i sile koja deluje na taj fluid u poziciji  $i-1$ . Važno je napomenuti da se ovom jednačinom pretpostavlja da su pomeranja i sile male, pa stoga važi samo za male pomake.

## 3. OPIS RAZVIJENE KORISNIČKE APLIKACIJE

Za potrebe automatskog računanja ukupne potrošnje VPP razvijena je desktop aplikacija koja je prikazana na slici 2. Prilagođena je krajnjem korisniku sa mnoštvom različitih funkcija koje su prikazane u nastavku.



Slika 2. Izgled aplikacije

Na interaktivnom panelu razvijene aplikacije integrirani se sledeći elementi:

1. Dugmići *Dodaj fajl* i *Izbriši fajl* kojima se fajlovi, preuzeti sa AirBox-a i konvertovani u Excel fajl pomoću MSR aplikacije, učitavaju u aplikaciju i iz iste brišu;
2. Dugmići *Grafik* i *Tabela* kojima se bira način prikaza učitanih podataka u samoj aplikaciji;
3. U polja *Početno vreme* i *Završno vreme* se, na jedan od tri ponuđena načina o kojima će biti reči kasnije, bira željeni interval i nakon toga pritiskom na dugme *Potvrda* zadaje instrukcija aplikaciji da primeni formulu za date vrednosti;
4. Polje u kom se ispisuje rezultat i dugme *Izveštaj* čijim se pritiskom kreira PDF fajl;
5. Prikaz formule;
6. Prikaz grafika za učitani fajl.

### 3.1 Razvoj aplikacije

Razvoj ove aplikacije je odgovor na potrebu automatizacije računanja potrošnje VPP na osnovu podataka preuzetih iz uređaja za merenje protoka, u ovom slučaju AirBox-a.

Za njeno kreiranje je korišćen programski jezik C# i programsko okruženje Visual Studio, proizvođača Microsoft.

Kao što je prikazano na slici 2, aplikacija sadrži nekoliko dugmića za upravljanje, dva načina prikaza učitanih fajlova radi bolje preglednosti i prikaz rezultata računanja kao i mogućnost njihovog izvoza u PDF.

### 3.1.1 Grafički prikaz

Najviše vremena tokom razvoja ove aplikacije je posvećeno grafičkom prikazu učitanih fajlova, kako bi krajnjem korisniku bio omogućen jednostavan pregled podataka. Pored toga što sam grafik daje jednostavan pregled, on takođe omogućava da se pomeranjem dve vertikalne ose (zeleni i narandžasta) bira željeni interval i podaci automatski upisuju u dva polja iznad grafika (*Početno i Završno vreme*).

### 3.1.2 Tabelarni prikaz

Izborom tabelarnog prikaza dobijaju se podaci redno predstavljeni u vidu tabele. Prva kolona pod nazivom *Vreme* predstavlja vremenske intervale u kojima je odbirkovanje vršeno.

Kolona *Vrednost* ispisuje vrednosti protoka VPP u tom trenutku. Klikom na željeno polje u tabeli, taj podatak se upisuje u polje *Početno vreme* ili *Završno vreme*.

### 3.1.3 Generisanje izveštaja

Nakon što se, na jedan od tri moguća načina, izabere interval koji korisnik želi, moguće je pritiskom na dugme *Potvrda* dobiti vrednost ukupne potrošnje komprimovanog vazduha.

Zatim postoji mogućnost da se, pritiskom na dugme *Izveštaj*, kreira fajl koji će sadržati podatke sa slike u prilogu. Takođe, i grafik sa osama pozicioniranim na željenim vrednostima i tabelu koja prikazuje polja od početno izabranog vremena do završnog.

## 4. VALIDACIJA REZULTATA I DISKUSIJA

Za potrebe dokazivanja verodostojnosti rada razvijene aplikacije, izvršena je validacija dobijenih rezultata. To je urađeno poređenjem rezultata dobijenih dosadašnjim načinom računanja potrošnje VPP, ručnim računanjem i uz pomoć razvijene aplikacije, automatskim računanjem. U slučaju da nema odstupanja, aplikacija se smatra validnom.

### 4.1 Dobijanje rezultata pomoću aplikacije

U konkretnom slučaju, za validaciju je korišćen fajl pod imenom Log2206.MSR. Njegovim učitavanjem u aplikaciju se dobijaju vrednosti kojima se može dalje upravljati.

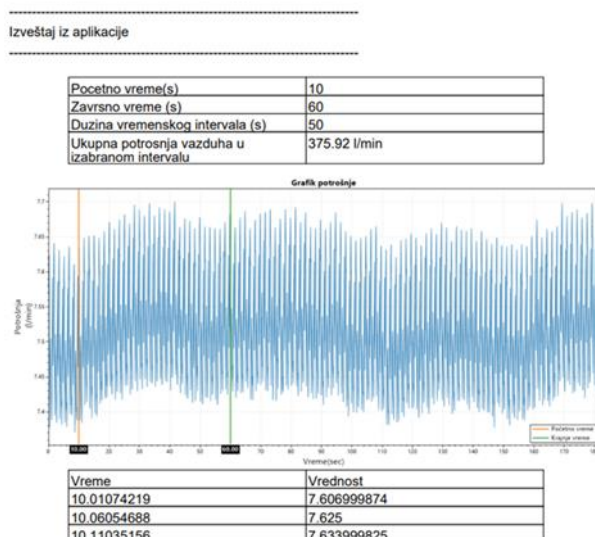
Na primer, izborom vremenskog intervala između 10 s i 60 s, vrednost potrošnje VPP iznosi 375,92 NI/min kao što je prikazano na slici 3.

### 4.2 Dobijanje rezultata ručnim računanjem

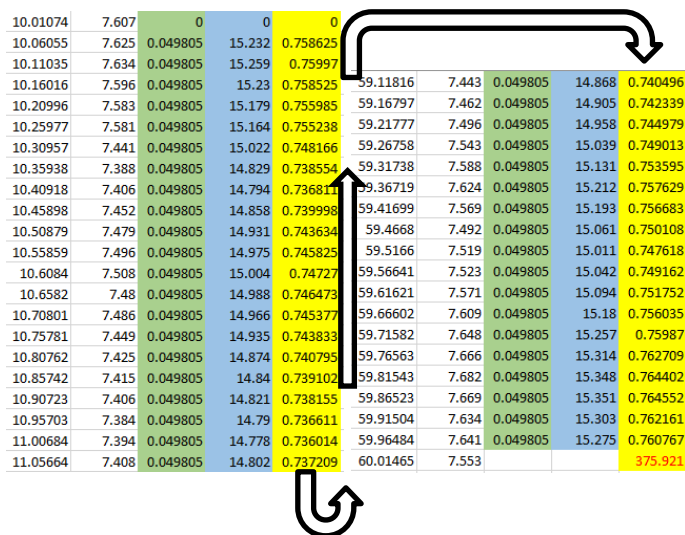
Za ručno računanja korišćena je Excel tabela radi ubrzanja procesa. Odrađena su tri testna merenja.

Što se tiče prvog primera, primenom formula u Excel-u dobijena je vrednost ukupne potrošnje VPP od 375,92 NI/min, što se može videti na slici 4.

Kao što se moglo ranije videti, aplikacija je generisala isti rezultat.



Slika 3. Izveštaj i rezultati dobijeni korišćenjem aplikacije



Slika 4. Proračun u Excel-u

## 5. ZAKLJUČAK

Kao što je prikazano u prethodnom delu rada, krenuvši od uvoda koji bliže objašnjava tematiku ovog rada, do poglavlja koje predstavlja formulu koja se koristi za računanje potrošnje VPP, preko predstavljanja razvijene korisničke desktop aplikacije, dolazi se do zaključnog dela rada koji predstavlja evaluaciju svih rezultata.

Upoređivanjem rezultata koji su dobijeni u prethodnom poglavlju, na dva prikazana načina, može se zaključiti da su identični i da je aplikacija validna tj. da se može nadalje koristiti kao pouzdan alat. Samim tim, ovo rešenje će umnogome pomoći krajnjem korisniku i potpuno otkloniti mogućnost greške prilikom računanja.

U ovom konkretnom primeru, na intervalu od 50 s postojale su 1004 vrednosti protoka VPP za izabrani vremenski interval. Na toliku količinu podataka, greška pri računanju je veoma česta pojava, ako se koristi ručni način računanja.

Treba imati u vidu da je ova aplikacija takođe veoma „user friendly“ tj. da je na prvo korišćenje jasno kako se koristi i da ne dovodi ni do kakve zabune. Njena velika prednost u odnosu na aplikacije koje se trenutno nalaze na tržištu je ta da pored klasičnog davanja rezultata nudi i tabelarni i grafički prikaz koji korisniku umnogome pomaže da definiše i izabere vremenski interval koji je njemu od značaja. Takođe, generisanje izveštaja je opcija koja pomaže korisniku da svoje rezultate predstavi pomoću zvaničnog dokumenta, automatski generisanog, bez potrebe za dodatnim zapisivanjem i pamćenjem.

Najveće poteškoće prilikom razvoja aplikacije pojavile su se pri pokušaju adaptacije same aplikacije na rad sa CSV tipom fajla, koji se direktno dobija nakon konverzije podataka preuzetih sa AirBoxa.

Sledeći izazov bio je prilagoditi grafik potrebama aplikaciji ovakvog tipa tj. kako predstaviti veliku količinu podataka na relativno malom prostoru. Za rešavanje takvog problema uvezena je specijalna biblioteka zvana „ScottPlot“ koja nudi brojne mogućnosti manipulacija graficima. Sledeći korak koji bi ovaj rad nadogradio, bilo bi dodavanje opcije da se fajl, koji je preuzet sa pomenutog uređaja, direktno u aplikaciji konvertuje iz .msr tipa u .csv tip fajla. Time bi se dobio jedinstven alat koji objedinjuje dve postojeće aplikacije.

## 6. LITERATURA

- [1] S. Dudić, I. Ignjatović, D. Šešlija, V. Blagojević, M. Stojiljković, „Leakage quantification of compressed air using ultrasound and infrared thermography”, Measurement, Volume 46, Issue 7, pp. 1689-1694, August 2012.
- [2] R. Dindorf, „Estimating Potential Energy Savings in Compressed Air Systems”, Procedia Engineering, Volume 39, pp. 204-211, 2012.
- [3] P. Beater, „Pneumatic drives, System Design, Modelling and Control”, Springer Berlin, Heidelberg, 2007.

### Kratka biografija:



**Dejan Lazić** rođen je u Valjevu 1998. god. Master rad na Fakultetu tehničkih nauka iz oblasti Industrijsko inženjerstvo – Automatizacija procesa rada odbranio je 2023.god.

kontakt: [dejanlazi58@gmail.com](mailto:dejanlazi58@gmail.com)