

# Ecodesign-ul dispozitivelor electronice

## UNIT 12: Exemplu de proces de producție a dispozitivelor electronice

Autor: Andrej Sarjaš



12.1. Producția de dispozitive electronice .....	1
12.2. Alegerea elementelor dispozitivului.....	2
12.2.1. Senzor de debit .....	2
12.2.2. Supapă proporțională.....	3
12.2.3. Microcontroler .....	3
12.2.4. Modul de control al debitului.....	4
12.3. Producția de prototipuri tipărite .....	5
12.3.1. Primul prototip.....	5
12.3.2. Al doilea prototip .....	7
12.3.3. Al treilea prototip.....	7
12.4. Modelarea testului de sistem și performanță .....	9
12.4. Aplicație pentru colectarea și monitorizarea datelor de pe dispozitiv .....	10

### Rezumatul capitolului:

- Procesul de producție a dispozitivelor electronice
- Dezvoltarea și modernizarea produselor
- Prototipuri și testări



## 12.1. Producția de dispozitive electronice

Să aruncăm o privire la procesul de producție a dispozitivelor electronice. Clientul a comandat un studiu și efectuarea de echipamente de laborator pentru măsurarea fluxului de aer scăzut în procesul de îmbătrânire a uleiului de transformator. Uleiul de transformator este utilizat pentru răcirea sistemului de transformare. Uleiul este în general produs din material foarte rafinat și trebuie să fie stabil la temperaturi ridicate. De asemenea, trebuie să aibă proprietăți izolate mari, deoarece trebuie să prevină corona (scânteie cu energie scăzută) și scânteierea. Caracteristicile uleiului sunt importante pentru fiabilitatea dispozitivelor energetice și, prin urmare, există un standard și un proces de testare a uleiului.

Înainte de a începe cu principiile de producție, să prezentăm pe scurt funcțiile dispozitivului. Procesul de îmbătrânire a uleiului de transformator este un test al calității uleiului. Cu fluxul constant de aer prin intermediul uleiului la temperatura de 120°C, inducem procesul de îmbătrânire rapidă. Dacă folosim 0,5 dl de ulei și în mod constant punem aer cu fluxul de 1l / h la temperatura de 120 °C timp de 10 zile prin acesta, ajungem la o vârstă de petrol echivalentă cu 25 de ani. Uleiul îmbătrânit forțat poate fi apoi testat în laboratorul chimic pentru a studia compoziția și calitatea sa chimică. Producerea dispozitivului pentru procesul de îmbătrânire forțată constă în documentația care include analize funcționale și panoramice. Analiza panoramică determină auditul dispozitivelor și elementelor existente pe piață. Documentația funcțională determină tipul elementelor selectate și descrie funcționarea dispozitivului. După examinarea soluțiilor existente, am ajuns la concluzia că vom face toate elementele dispozitivului. Prin aceasta, ne referim la utilizarea unor regulatoare industriale de flux care sunt dispozitive independente. Dispozitivul industrial poate fi conectat la propriul sistem sau platformă prin interfețe de comunicare. Soluțiile industriale actuale nu oferă o reglementare a debitelor scăzute conform cerințelor standardului. Prețul pe unitate este, de asemenea, foarte ridicat. Următorul număr este alegerea unui senzor accesibil, fiabil și precis. Debitul de 1l / h se încadrează în zona de curgere scăzută, unde abordările clasice de măsurare cu o deschidere nu sunt foarte precise și fiabile. Pentru măsurarea fluxului prin punctul de măsurare, am ales o supapă adecvată. Am conectat ambele dispozitive la un microcontroler care a fost responsabil pentru gestionarea fluxului în circuit închis și pentru comunicarea cu alte dispozitive externe.

Unele caracteristici funcționale ale dispozitivului:

- Precizia dispozitivului  $\pm 0.25$  l / h.
- Gestionarea debitului până la 0,5-2 l / h.
- Dispozitivul trebuie să fie cât mai mic posibil.
- Fiabilitate ridicată.
- Comunicarea cu un computer personal: USB, Bluetooth.
- Comunicații industriale RS485.
- Aplicație Windows pentru captarea și salvarea datelor în timpul testului.



Principalul aspect ecologic al procesului de proiectare a dispozitivelor.

- Utilizarea elementelor care nu conțin substanțe periculoase (plumb, mercur, etc.).
- Fiabilitate.
- Cel mai mic consum posibil de energie.
- Minimizarea dispozitivului și cel mai mic număr posibil de materiale utilizate la aceeași fiabilitate.
- Greutate.

## 12.2. Alegerea elementelor dispozitivului

Atunci când alegem elementele, trebuie să ne concentrăm pe fiabilitate, precizie și preț.

### 12.2.1. Senzor de flux de aer

Criteriile principale în determinarea senzorului au fost domeniul de măsurare dorit [0,5-2] l / h și o sensibilitate adecvată. Pe piață găsim un număr limitat de senzori de măsurare a debitului de aer care sunt accesibili în mod dimensional și în funcție de preț. Pentru producția regulatorului, vom avea nevoie de un senzor care să poată comunica cu controlerul prin intermediul uneia dintre interfețele clasice de comunicație: intrare analogică, protocol I2C sau SPI. Am ales un senzor cu protocol I2C, compensarea temperaturii și scala de măsurare liniară. În acest fel, am evitat nevoia suplimentară de linearizare a programului și o compensare suplimentară a erorii de măsurare. Senzorul ales WBI este prezentat în imaginea 1. Acesta îndeplinește următoarele criterii: interval de măsurare [0,1-2,5] l / h, rezoluție 0,1l / h, comunicare I2C, timp de măsurare 5ms, dimensiuni w / h / d-3.5x1x2.5cm .



**IMAGE 1: WBI AIRFLOW SENSOR.**



### 12.2.2. Supapă proporțională

La alegerea supapei, am avut cerințe similare ca și senzorul. Valva trebuie să asigure controlul secvențial, să fie adecvată pentru fluxul de aer mic, accesibil, să aibă dimensiuni mai mici și să funcționeze liniar. Din acest motiv, am ales gama de supapă liniară VSO Low Flow de la producătorul Parker, văzută în imaginea 2. Valva poate regla secvențial fluxul de aer până la [0,01-10] l / h, are dimensiuni w / h / d-2x3x2cm și intervalul de lucru este 0-2Bar.



IMAGE 2: PROPORTIONATE VALVE.

Pentru controlul supapei cu un microcontroler, trebuie să construim circuitul de adaptare-control. Valva va fi controlată de semnalul PWM de la microcontroler. Pentru proiectarea ecologică, vom prezenta mai multe iterații ale dezvoltării circuitului de control. Principalele criterii sunt dimensiunile mici, greutatea redusă, simplitatea și consumul de energie.

### 12.2.3. Microcontroler

În scopul controlului, am ales un microcontroler care este capabil să execute toate funcțiile algoritmului de reglare, colectarea datelor și comunicarea cu dispozitive externe. Atunci când alegem un controler, trebuie să luăm în considerare câțiva factori, cum ar fi frecvența de operare a unității de procesare și un număr de conectori de intrare-ieșire. Am căutat un controler cu aproximativ același număr de conectori cum avem nevoie, un consum redus de energie și un preț accesibil. Pentru setul de criterii pentru determinarea adecvării microcontrolerului, am adăugat o cerință pentru capacitatea adecvată de prelucrare a datelor (conversii AD, temporizatori, etc.). Pentru producerea prototipului de regulator de debit scăzut al aerului, am ales microcontrolerul ARM de 32 biți de la producătorul STMicroelectronics din gama F1xx, iar modelul este STM32F103C8T6. Gama de produse ARM STM32F1xx asigură echilibrul între eficiență și economie de energie. Modulul de dezvoltare cu STM32F103C8T6 este prezentat în imaginea 3.





IMAGE 3: MICROCONTROLLER.

Microcontrolerul STM32F103C8T6 are 48 pini și îndeplinește modulele de comunicații: 4xUSART, 2xI2C, 3xSPI. Un modul de comunicare USART va fi utilizat pentru comunicarea industrială prin RS485, iar cel de-al doilea va fi utilizat pentru conectarea calculatorului personal prin interfața USB sau Bluetooth. Sensorul de debit WBI va fi conectat la interfața I2C. Pentru controlul supapelor, vom folosi o ieșire digitală cu modulație PWM. Unele ieșiri digitale vor fi utilizate pentru luminile de stare și de afișare. De asemenea, vom adăuga câteva coduri la dispozitiv, cum ar fi lansarea fizică a dispozitivului, alegerea modului de funcționare și oprirea dispozitivului. Dispozitivul poate fi lansat și prin aplicația de culegere a datelor.

#### 12.2.4. Modul de control al debitului

În modul de control al debitului am decis pentru controlul cu buclă închisă, imaginea 4. Controlul cu buclă închisă permite o mai mare fiabilitate, o mai bună eliminare a perturbațiilor și precizie. Controlul cu buclă închisă utilizează principiul de măsurare a valorilor de ieșire și transferul invers al informațiilor către sistem în care se calculează eroarea de control. Eroarea de control se calculează în funcție de valoarea dorită și măsurarea sensorului de curent. Această valoare poate fi apoi gestionată de autoritatea de reglementare. Regulatorul calculează valoarea de ieșire necesară cu care influențează sistemul. Pentru sistemul dat, am folosit structura clasică de regulator PID. Regulatorul PID este o structură de reglementare bine stabilită într-un mediu industrial. Se remarcă printr-o fiabilitate simplă și relativ ridicată. Algoritmul PID este executat în microcontroler.

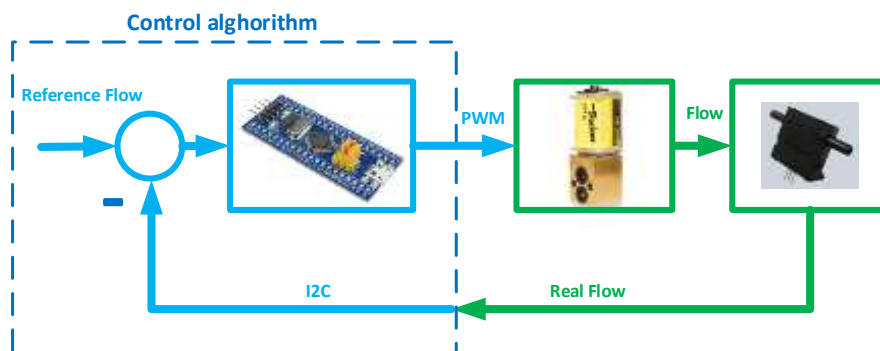


IMAGE 4: CLOSE-LOOP CONTROL.

Controlul cu buclă închisă este mai complex și necesită mai multă putere de calcul în comparație cu controlul cu buclă deschisă. Controlul cu buclă deschisă este mai



simplu, dar și mai puțin fiabil, deoarece nu utilizează informații inverse de la ieșire, imaginea 5. În cazul nostru, controlul cu buclă deschisă ar fi semnificativ mai ieftin, deoarece nu am avea nevoie de senzor de debit care este componenta cea mai scumpă din sistemul de control.

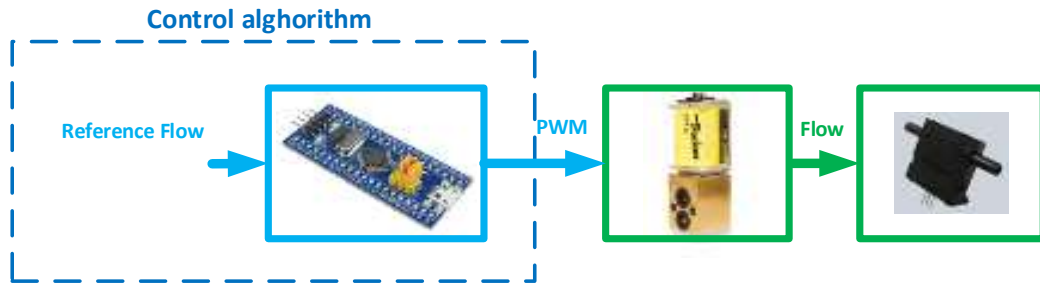


IMAGE 5: OPEN-LOOP CONTROL.

Structura regulatorului PID este prezentată în următoarea expresie:

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int e(\tau) d\tau + K_d \frac{de(t)}{dt}$$

Din ecuație, putem vedea că algoritmul PID constă din trei părți (P, I și D). Partea P este proporțională, ceea ce înseamnă că eroarea regulatorului poate fi înmulțită cu constanta. Partea P îmbunătățește caracteristicile dinamice ale buclei închise. Am eliminat erorile de control, ceea ce este important pentru precizie, dar, pe de altă parte, scade dinamica sistemului. Dinamica sistemului înseamnă că regulatorul are nevoie de mai mult timp pentru a atinge valoarea de referință. D crește dinamica sistemului și amplifică zgomotul senzorului. Setarea corectă a PID este un compromis între precizie și viteză.

### 12.3. Producția de prototipuri tipărite

Producția și proiectarea regulatorului de debit constau în mai multe etape. Primele prototipuri nu au oferit rezultate satisfăcătoare și suficiente. Au existat probleme cu dimensiunea dispozitivului, temperatura ridicată de lucru a electronicii de comandă și prea multe componente utilizate. Din acest motiv, am realizat mai multe prototipuri în care am lucrat în principal pe electronice de comandă a supapelor.

#### 12.3.1. Primul prototip

Pentru primul prototip, am folosit schema de control a supapei de la producătorul Parker. Pentru funcționarea microcontrolerului am adăugat stabilizator de tensiune și cleme de conectare pentru alimentarea externă a supapei. Tensiunea de alimentare prescrisă a fost de 9V. Imaginea 6 prezintă prima versiune a electronicii de comandă a supapei. După cum sa menționat anterior, supapa va fi controlată prin semnal PWM cu frecvență de 10 kHz. Electronica de control utilizează amplificatorul operațional LM358



care asigură un curent stabil prin bobină. Pentru elementul de comutare, am folosit tranzistor TIP120 care este conectarea la Darlington a două tranzistoare BJT.

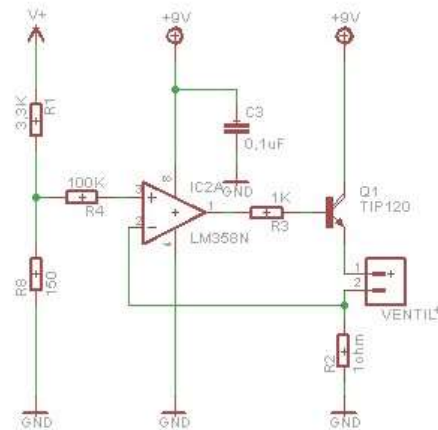


IMAGE 6: VALVE CONTROL CIRCUIT.

O schemă a programul Altium cu conectori de alimentare și substrat pentru microcontroler este prezentată în imaginile 7 și 8.

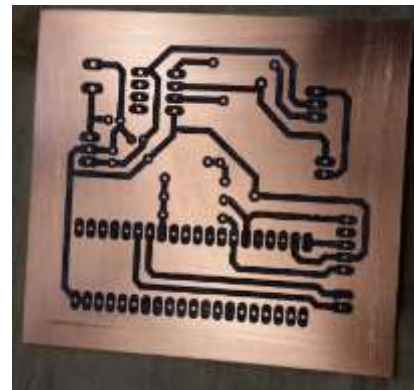
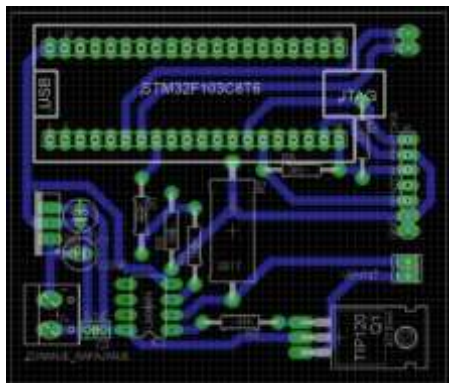


IMAGE 7: PRINTED MATTER APPEARANCE.

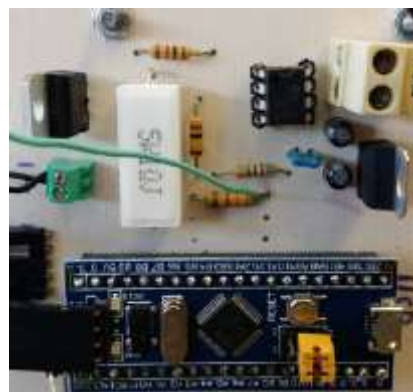


IMAGE 8: FINAL PROTOTYPE.





Prima versiune prototip a fost un dispozitiv complet de lucru. Cea mai mare problemă a fost supraîncălzirea elementului de comutare TIP120. Temperatura măsurată a fost de aproape 70°C. Pentru funcționarea pe termen lung și pentru instalarea în carcasă a fost necesară adăugarea elementului de răcire. Dimensiunile circuitului au fost de 5x5cm.

### 12.3.2. Al doilea prototip

Cel de-al doilea prototip a fost bazat pe același circuit, dar circuitul de control a fost redimensionat și redus. Toate elementele, cu excepția elementului de comutare TIP120, au fost înlocuite cu elemente bazate pe tehnologia SMD. Această tehnologie permite producerea de elemente mai mici cu aceleași caracteristici. Din aspectul designului ecologic, aceasta înseamnă că am înlocuit elementele cu unele mai ușoare și fabricate din mai puține materiale. Cele două prototipuri de circuit sunt prezentate în imaginea 9.

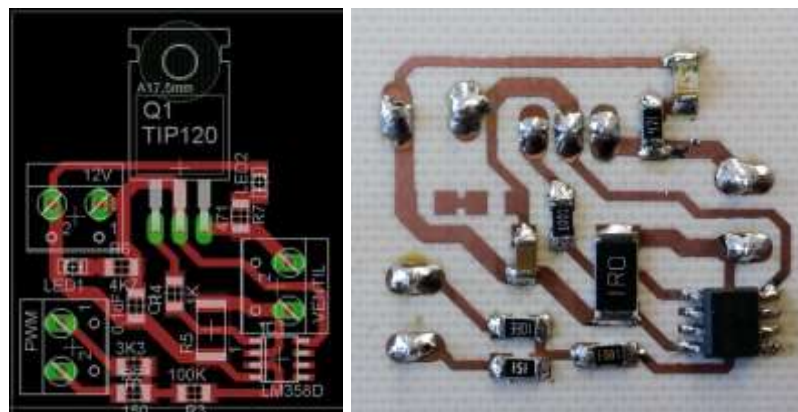


IMAGE 9: SECOND CIRCUIT PROTOTYPE.

În cel de-al doilea prototip am redus circuitul la jumătate. Dimensiunea circuitului a fost acum 2,3x2,2cm. Dar problema principală - supraîncălzirea tranzistorului de comutare a rămas aceeași.

### 12.3.3. Al treilea prototip

În cel de-al treilea prototip am decis să proiectăm un circuit autonom, în care vom folosi un element de comutare care va fi capabil de comutare fără pierderi. Am decis să proiectăm un circuit cu element de comutare MOSFET. Deoarece controlul debitului se face într-o buclă închisă, electronicele de reglare a supapei nu au nevoie de stabilizarea fluxului prin supapă ca și în prototipul anterior. Am eliminat amplificatorul operațional din circuit. Schema de comandă a supapei este prezentată în imaginea 10.





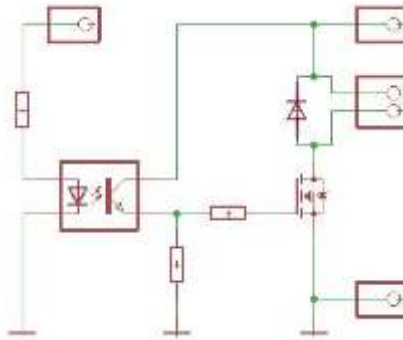


IMAGE 10: THIRD CONTROL CIRCUIT PROTOTYPE WITH MOSFET TRANSISTOR.

Elementul de comutare MOSFET în tehnologia SMD este de cinci ori mai mic decât un tranzistor TIP120. Ultimul prototip funcționa fără încălzire excesivă. Temperatura MOSFET la temperatura camerei nu a fost mai mare de 35°C, ceea ce înseamnă că am avut pierderi mai mici decât în versiunile anterioare. Dimensiunea circuitului a fost de 1,2x1,5cm, deci am folosit materiale mai puține și mai ieftine. Pentru tranzistor comparativ, TIP120 a fost de trei ori mai scump decât versiunea SMD a MOSFET. În ultima versiune am adăugat un contactor optic care este utilizat pentru izolarea galvanică și protecția microcontrolerului. Circuitul de control final este prezentat în imaginea 11.

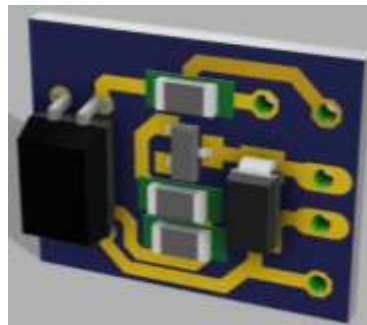


IMAGE 11: FINAL CIRCUIT APPEARANCE.

Ultimul prototip a fost și ultima versiune cu intenția de a produce dispozitivul complet. O scurtă comparație a tuturor celor trei prototipuri este prezentată în tabelul 1.

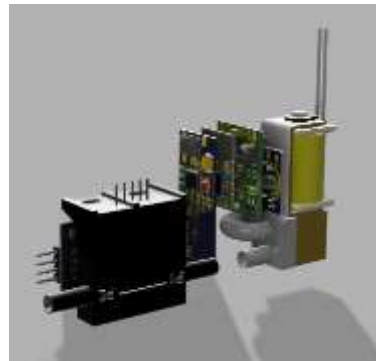
Caracteristici	Ver. 1 (TIP120)	Ver. 2 (TIP120)	Ver. 3 (MOSFET)
<i>Dimensiuni</i>	5x5cm	2.3x2.2cm	1.2x1.5cm
<i>Număr de elemente</i>	8	8 (SMD)	5 (SMD)
<i>Temperatura comutatorului</i>	70°C	70°C	35°C
<i>Greutate</i>	16g	11g	3g
<i>Preț mediu</i>	17€	13€	8€

TABLE 1: COMPARISON OF THREE CIRCUIT PROTOTYPES.

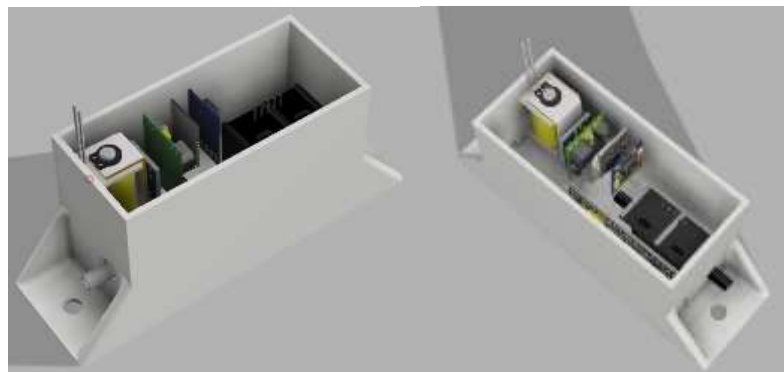


## 12.4. Modelarea sistemului și testul de performanță

Aspectul final al dispozitivului complet a fost proiectat folosind modelarea 3D. În acest fel, am prezentat aspectul complet al dispozitivului și compoziția sa internă. Imaginile 12 și 13 prezintă dispozitivul final și componentele acestuia.

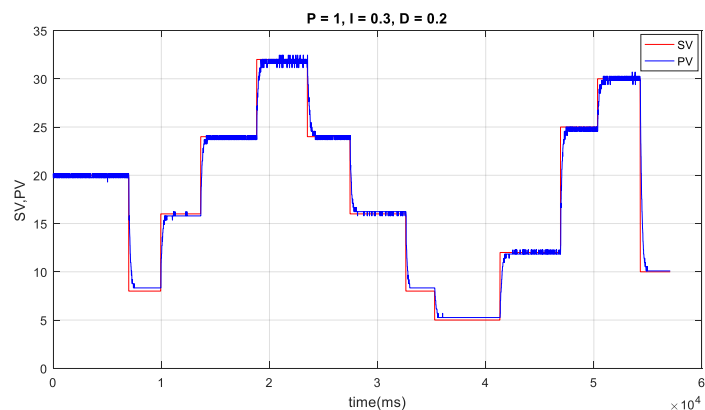


**IMAGE 12: ELEMENT ARRANGEMENT WITHOUT HOUSING.**



**IMAGE 13: ELEMENT ARRANGEMENT WITH DEVICE HOUSING.**

Eficiența dispozitivului a fost testată după 240 ore de funcționare. Imaginea 14 prezintă controlul fluxului și monitorizarea fluxului de referință.



**IMAGE 14: FLOW CONTROL. RED COLOR - REFERENCE VALUE, BLUE COLOR - REAL FLOW VALUE.**



## 12.4. Aplicație pentru colectarea și monitorizarea datelor de pe dispozitiv

În scopul afișării continue și monitorizării datelor curente a fost creată aplicația Windows, prezentată în imaginea 15. Aplicația este concepută pentru a afișa rezultatele măsurate și a le salva într-un fișier. În cazul unei defecțiuni la calculator, se creează un nou fișier pentru salvarea datelor în fiecare oră.

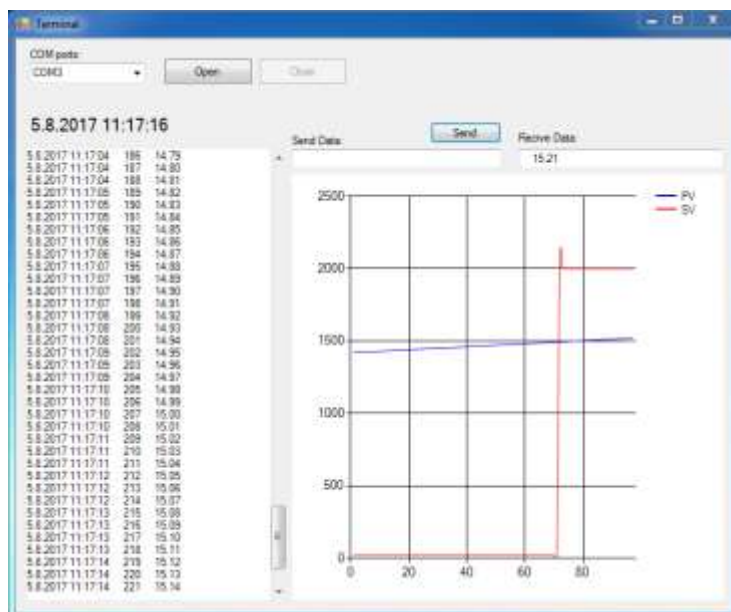


IMAGE 15: APPLICATION FOR DISPLAY AND SAVING OF DATA.

După finalizarea versiunii pilot a dispozitivului, am făcut și o comparație cu o versiune industrială a regulatorului de debit. Versiunea actuală este fiabilă, are o precizie de 0,1 l / h și utilizează o cantitate minimă de elemente. Prețul complet al regulatorului este de aproximativ 150 €, comparativ cu cea mai ieftină versiune industrială, care are o precizie de 0,8l / h de cinci ori mai mică.

