

Universitatea "Politehnică" din Timișoara
Facultatea de Mecanică
Departamentul de mașini termice și transporturi
Catedra de Termotehnică, Mașini Termice și Autovehicule Rutiere

Ing. Dan Motântău Sârbu

Cercetări privind utilizarea
tuburilor Field în construcția
schimbătoarelor de căldură

TEZĂ DE DOCTORAT

BIBLIOTECA CENTRALĂ
UNIVERSITATEA "POLITEHNICA"
TIMIȘOARA

625.357
181 D

Conducător Științific:

Prof. dr. ing.
Liviu Dan Negru

Prof. dr. ing.
Virgiliu Dan Negrea

1999

CUPRINS

Introducere

CAPITOLUL 1

Stadiul actual al cercetărilor în domeniul schimbătoarelor de caldură tip U, tub în tub și tub “Field”

- 1.1. Schimbătoare de caldură tubulare
- 1.2. Schimbătoare de caldură elastice
- 1.3. Aplicații speciale

CAPITOLUL 2

Modelul matematic pentru evaluarea termogazodinamicii tuburilor Field lise și cu elemente de turbulență, nervurate, în regim laminar

- 2.1. Modelarea numerică a transferului termic și a proceselor de curgere laminară prin tuburi
 - 2.1.1. Schema exponențială
 - 2.1.2. Schema Power-Law
 - 2.1.3. Ecuația discretizată bidimensională
 - 2.1.4. Rezolvarea sistemului de ecuații algebrice ca urmare a discretizării ecuațiilor fundamentale
 - 2.1.5. Descrierea modelului numeric pentru cercetarea intensificării schimbului de caldură la curgere prin tuburi cu elemente de turbulență

CAPITOLUL 3

Modelarea transferului de caldură în regim laminar și turbulent de curgere pentru tubul Field lis și cu nervuri

- 3.1. Elemente privind programarea pe ordinator a proceselor termogazodinamice caracteristice regimurilor laminare
- 3.2. Modelarea termogazodinamicii tuburilor de tip Bayonet lise, în regim laminar
- 3.3. Modelarea termogazodinamicii tuburilor de tip Bayonet lise și nervurate în regim turbulent
 - 3.3.1. Soluționarea ecuațiilor curgerii turbulente
 - 3.3.2. Elemente privind programarea pe ordinator a proceselor termogazodinamice caracteristice regimului turbulent

CAPITOLUL 4

Instalația experimentală și metodică de cercetare utilizate la investigarea comportării tuburilor Field

- 4.1. Instalația experimentală cu echipare completă
- 4.2. Caracteristicile instalației
- 4.3. Panoul de automatizare și măsură
- 4.4. Similitudinea fizică
- 4.5. Criterii de similitudine
- 4.6. Metodică de cercetare experimentală

CAPITOLUL 5

Cercetări experimentale privind performanțele constructiv funcționale ale tuburilor Field

- 5.1. Calculul termic al schimbătoarelor de caldură tubulare
- 5.2. Posibilități de evaluare cantitativă a transferului termic, utilizând funcții de tip ϕ și domeniile de utilizare
- 5.3. Determinarea coeficientului de convecție termică α_1
- 5.4. Determinarea coeficientului de frecare c_f
- 5.5. Prelucrarea datelor experimentale
- 5.6. Erorile de măsurare și propagarea lor

CAPITOLUL 6

Verificarea modelului de calcul prin date experimentale.

- 6.1. Experimente numerice privind transferul termic în tuburi Field numai în regim laminar
- 6.2. Experimente numerice privind transferul termic în tubul Field la regimuri laminare, tranzitorii și turbulente cu programul de modelare Phoenics
- 6.3. Interpretarea critică a datelor experimentale comparativ cu datele de calcul

CAPITOLUL 7

Concluzii. Contribuții personale

- 7.1. Concluzii
- 7.2. Contribuții personale

Bibliografie

Anexe

INTRODUCERE

Omul nu produce energie, omul o transformă. Datorită ireversibilității proceselor, transformarea se soldează cu creșteri de entropie, ceea ce înseamnă degradarea energiei și implicit pierderi. Tehnologiile sunt cele care trebuie să rezolve problema diminuării pierderilor și optimizarea transformării energiei.

Tubul Field, pe lângă avantajele pe care le aduce mai ales în spațiile agabaritice, prin faptul că pierderile se efectuează într-o singură secțiune, permițând lungimi foarte mari și nemaipunând probleme cu dilatările datorită gradientului local de temperatură și a celui extins, are și avantajul unei construcții simple și a unor performanțe de transfer îmbunătățite față de clasicul tub "U", cu care este comparabil. La acestea se adaugă și facilități în exploatare dar și la revizii și reparații, unde se poate interveni ușor pe fiecare tub individual.

În România, în STAS 8566/86, apare pentru prima dată schimbătorul de căldură cu tub Field sub denumirea de schimbător de căldură cu fascicul tubular cu țevi concentrice (teacă).

Cu toate că sunt mai puțin cunoscute, ele au aplicații speciale, cum ar fi în tehnica nucleară, la temperaturi ultraînalte când sunt confecționate din ceramică, în industria chimică, unde sunt realizate din tantal și niobiu, iar la debite și dimensiuni mici în tehnica aerospațială și chiar în medicină.

În același timp construcția tub în tub permite o raționalizare a spațiilor și a distanțelor, astfel încât să se creeze efecte locale de turbulență cu efecte benefice asupra transferului convectiv de căldură, fără a se recurge la elemente locale de turbulență cum sunt de exemplu aripioarele sau șicanele spiralate, care implică costuri suplimentare de construcție și tehnologii adecvate.

Prin particularitățile constructive și funcționale ale acestui element de schimbător, care îl individualizează net față de celelalte elemente clasice de schimbător de căldură, se crează posibilitatea unui studiu aprofundat prin intermediul unui stand experimental performant, cât și modelarea teoretică a funcționării acestui element.

Astfel, în multitudinea de tipuri de schimbătoare de căldură, cele cu tuburi Field sau tip Bayonet, așa cum mai sunt cunoscute în literatura de specialitate, reprezintă un segment generos.

În lucrarea de față, pe lângă tratarea analitică a fenomenelor de curgere și transfer termic în juxtapunere cu rezultatele experimentale obținute pe standul experimental conceput și realizat de autor în acest scop, s-a realizat și o modelare numerică pentru evaluarea termogazodinamicii tuburilor Field pentru suprafețe lise dar și pentru suprafețe nervurate în regim laminar și tranzitoriu, prelucrată pe calculator.

STRUCTURA LUCRĂRII

Lucrarea este compusă din șapte capitole.

În capitolul 1 se descriu elementele de schimbător de căldură de tip “U”, tub în tub și tub Field, cu referiri la principiile constructive, stadiul actual al cercetărilor în acest domeniu, dar și aplicațiile speciale ale tuburilor Field ce face parte din categoria schimbătoarelor de căldură cu fascicul tubular, dar subliniindu-se particularitățile constructive și funcționale, precum și domeniile de utilizare.

În capitolul 2 se prezintă modelul matematic pentru evaluarea termogazodinamicii tuburilor Field lise, studiindu-se elementul Field în două etape și anume, ca tub simplu și ca tub inelar, în etapa a doua.

Prin asamblarea celor două etape rezultă principiul care stă la baza modelării tubului Field. Se tratează și cazul tuburilor cu elemente de turbulență.

Capitolul 3 are ca obiectiv modelarea termogazodinamică a tuburilor de tip Bayonet lise și nervurate în regim laminar, utilizând în programul folosit modelul power-law de discretizare a ecuațiilor fundamentale, rezolvabile apoi cu metoda linie după linie, iar pentru soluționarea câmpului de presiune utilizându-se metoda “SIMPLER”. Se prezintă fișierele “tbulk tub” și “tbulk inel” cu care se operează la rularea acestui program, precum și algoritmul care permite utilizarea acestora pentru cazuri numerice. Tot în acest capitol se prezintă un program specializat Phoenix care facilitează modelarea proceselor termogazodinamice atât în regim turbulent cât și laminar, având la bază soluționarea ecuațiilor curgerii turbulente particularizate pentru regimul laminar și tranzitoriu.

În capitolul 4 se descrie instalația experimentală în detaliu, având în vedere că proiectarea și realizarea acesteia este originală, fiind concepută spre a fi folosită și pentru alte studii ulterioare, având caracteristici multifuncționale. De asemenea, sunt inventariate, relativ detaliat, aparatele de măsură digitale cu performanțe metrologice deosebite, care au permis obținerea de rezultate cu precizie ridicată.

Se tratează similitudinea ca modelare a proceselor de transfer termic în regim convectiv, care a stat la baza dimensionării tuburilor Field supuse experimentului.

Se prezintă și se analizează criteriile de similitudine care stau la baza comparării performanțelor termice și hidrodinamice ale diferitelor schimbătoare de căldură Field, cu tubul U și alte schimbătoare analizate în literatura de specialitate.

Metodica de cercetare stabilește regimurile de funcționare, cum s-au realizat acestea și punctele de măsurare prevăzute cu aparatura de care s-a dispus.

În capitolul 5 se expun câteva noțiuni legate de funcția ϕ , de determinare a coeficientului de frecare și a celui de convecție termică, care stau la baza programului propus de autor realizat în Excel. Acest program permite sintetizarea rezultatelor cercetărilor experimentale, a mărimilor calculate și exprimarea tabelară a acestora.

Capitolul 6 este rezervat unor experimente numerice, verificându-se datele de calcul obținute conform modelelor matematice propuse, în juxtapunere cu date experimentale. Graficele construite cu un program specializat denumit “Origin”, permit și interpretarea critică a datelor experimentale în comparație cu datele teoretice de calcul.

Capitolul 7 este dedicat concluziilor, în final propunându-se o soluție constructivă de tub Field cu performanțe optime. Se prezintă de asemenea succint și contribuțiile personale ale autorului.

Elaborarea lucrării este rezultatul unor cercetări desfășurate pe parcursul mai multor ani, care au condus la realizarea unui stand experimental, la un studiu experimental și teoretic laborios, dublat de o documentare pertinentă pe Internet și o utilizare permanentă a calculatorului.

* * *

Folosesc acest prilej pentru a omagia școala care m-a format ca inginer și ca om de învățământ, încercând și eu prin modesta mea contribuție să particip la întărirea prestigiului “Universității Politehnice” din Timișoara.

Un pios omagiu celui care a fost prof. dr. ing. Negru Dan Liviu, primul meu coordonator care va rămâne în memoria noastră și grație acestei lucrări.

Mulțumesc pentru sprijinul acordat în realizarea lucrării cadrelor didactice din cadrul catedrei de Termodinamică, mașini termice, în special d-lui prof. dr. ing. Nagi Mihai, care prin sfaturi competente și prin activitatea care au depus-o m-au ajutat la elaborarea acestei lucrări.

Doresc să-mi exprim mulțumirile pe această cale colegilor de la “Grupul Școlar Industrial Energetic” care m-au sprijinit și ajutat.

În mod deosebit doresc să mulțumesc d-lui director general dr. ing. Vaida Victor și d-lui ing. Brânzea Valentin de la sucursala “Electrocentrale” Deva–Mintia, pentru sprijinul acordat, astfel încât instalația experimentală să devină un vis realizat.

Mulțumiri pentru sfaturi și încurajări d-lui prof. dr. ing. Irimie Iulian de la “Universitatea” Petroșani.

De asemenea adresez mulțumiri d-lui prof.dr. Ichiro Tanasawa de la Universitatea din Tokio, Japonia, care prin intermediul E-mail a găsit timp să-mi dea informații la zi despre tuburile Field (Bayonet).

Mulțumesc soției și fiicei mele pentru înțelegere și sprijin, pentru că mi-au creat climatul necesar ca eu să-mi pot desfășura activitatea în cele mai bune condiții și că au înțeles și depășit frustrările și privațiunile la care le-am supus.

În final îmi exprim mulțumirile și considerația față de conducătorul științific al acestei lucrări, domnul prof. dr. ing. Virgiliu Dan Negrea, pentru întreaga activitate de îndrumare științifică și profesională, dar și pentru că atunci când mi-a fost mai greu m-a ajutat moral și m-a convins să nu renunț.

CAPITOLUL 1

STADIUL ACTUAL AL CERCETĂRIILOR ÎN DOMENIUL SCHIMBĂTOARELOR DE CĂLDURĂ TIP “U”, TUB ÎN TUB ȘI TUB “FIELD”

1.1. SCHIMBĂTOARE DE CĂLDURĂ TUBULARE

Schimbătorul de căldură cu tub Field este cunoscut în lume și ca tip bayonet. Dar în S.T.A.S. 8566-86 îl găsim sub denumirea de schimbător de căldură cu fascicul tubular cu țevi concentrice (teacă) (fig.1.1).

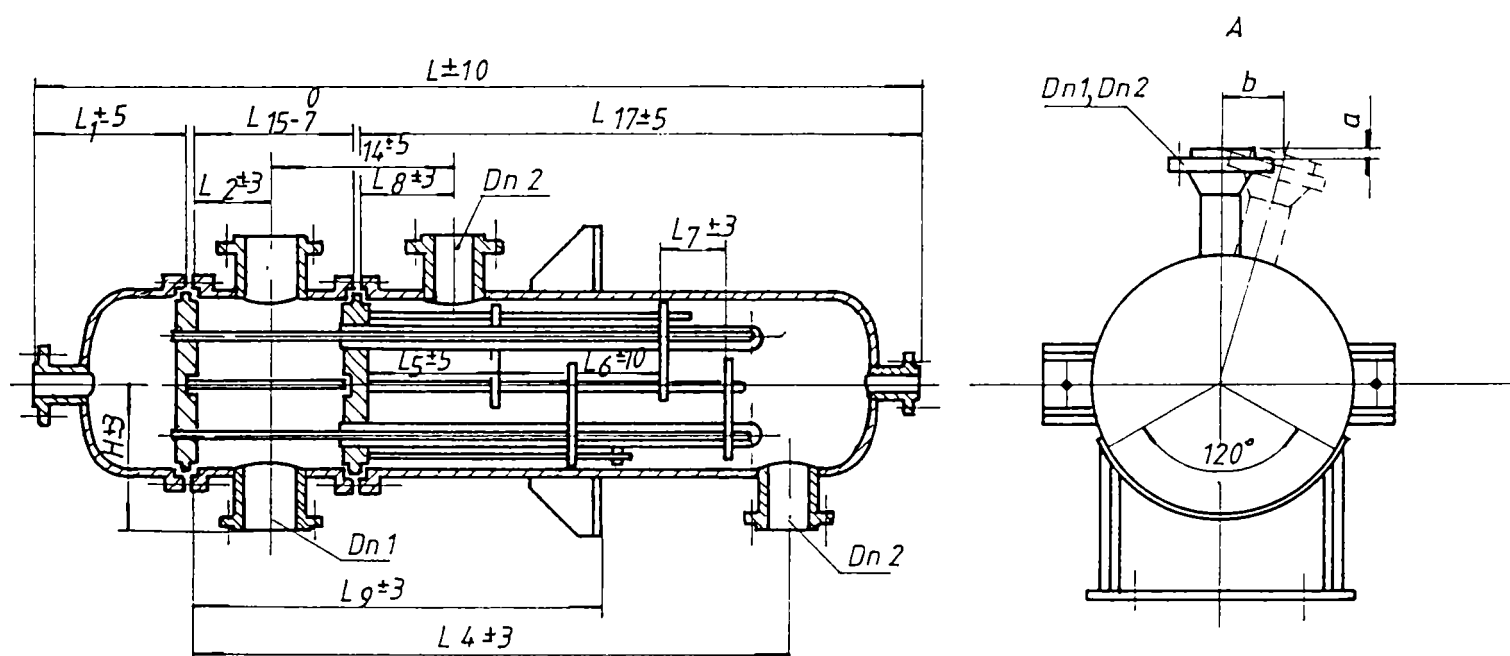


Fig. 1.1.

În consecință, ele fac parte din familia schimbătoarelor de căldură tubulare, alături de schimbătoarele de căldură cu țevi “U” și tub în tub.

Schimbătoarele de căldură executate dintr-un fascicul de țevi netede, cunoscute sub denumirea de schimbătoare tubulare sau multitubulare, sunt cel mai des folosite, fiind ieftine și relativ simplu de realizat. Soluțiile constructive diferă între ele prin metodele folosite pentru reducerea eforturilor termice dintre țevi și manta, precum și prin numărul de treceri ale agenților termici prin aparat (longitudinale sau transversale).

Un schimbător tubular poate avea o trecere prin țevi sau mai multe treceri printre țevi. Spațiul dintre două țevi este împărțit în mai multe treceri cu ajutorul unor pereți despărțitori transversali (șicane), având următoarele avantaje funcționale: uniformizarea distribuției curgerii și intensificarea transferului de căldură, prin asigurarea unei scaldări transversale a țevelor, obținerea unor diferențe medii de temperatură între cele două fluide cât mai mari, susținerea și rigidizarea sistemului tubular.

La schimbătorul de căldură tubular cu două treceri pentru ambii agenți termici, spațiul dintre țevi este împărțit în două treceri cu ajutorul unui perete despărțitor.

Disponerea țevelor în plăcile tubulare poate fi făcută după hexagoane regulate, după cercuri concentrice sau după triunghiuri isoscele. Disponerea țevelor în hexagoane regulate este cel mai des utilizată. Așezarea perfect hexagonală duce la nefolosirea completă, în cazul plăcilor tubulare rotunde, a întregii suprafețe disponibile. În sectoarele libere ale plăcii tubulare se introduc țevi suplimentare, dispuse în linii paralele cu laturile celui mai mare dintre hexagoane.

1.2. SCHIMBĂTOARE DE CĂLDURĂ ELASTICE

SCHIMBĂTOARELE CU ȚEVI “U”

Aceste aparate au o legătură elastică între corpul schimbătorului și plăcile tubulare sau între acestea și țevi. Este posibilă dilatarea independentă a țevelor și mantalei, în funcție de variația temperaturilor agenților termici.

Cele mai răspândite schimbătoare de căldură tubulare de construcție elastică sunt cele cu placă tubulară mobilă cu presetupa pe manta sau capac și cele în formă de U.

Legătura demontabilă dintre placa tubulară mobilă și capac se află în interiorul corpului aparatului și este inaccesibilă pentru observații.

Dacă se pierde etanșeitățile legăturii, poate apare pericolul amestecării agenților termici în aparat.

Legătura demontabilă permite însă curățirea mecanică a țevelor, atât în interior cât și la exterior. Din cauza capului mobil, diametrul corpului aparatului este mai mare decât diametrul flanșei capului mobil. În acest caz există, între țevi și manta, un spațiu mare, care reduce viteza agentului termic și micșorează transferul de căldură. Pe de altă parte, capul mobil complică construcția și mărește costul aparatului.

Presetupele montate pe manta sau capac se utilizează pentru diametre relativ mici ale mantalei (sub 500 mm) și pentru presiuni mici ale agenților termici (până la 2,5 bar).

Schimbătoarele de căldură cu țevile în formă de U au un consum redus de metal și condiții favorabile pentru transmiterea căldurii, datorită existenței a cel puțin două

tregeri în spațiul din interiorul țevilor. Sistemul este demontabil și înlătură presetupele, care pot prezenta imperfecțiuni de etanșare, mai ales la presiuni mari.

Schimbătoarele de căldură cu țevile în formă de U au dezavantajul că suprafața interioară a țevilor este greu de curățat, iar la execuție este dificil de montat un mare număr de țevi în placa tubulară.

Schimbătoarele tip Field permit și ele o dilatare liberă, ceea ce constituie un mare avantaj.

1.3. APLICAȚII SPECIALE

Schimbătoarele tip Field au o răspândire considerabilă în lume. Astfel, ele s-au folosit la cazanele cu mercur din centralele nucleare electrice din S.U.A., precum și la construcția recuperatoarelor.

CAZANE DE ABUR CU CIRCULAȚIE FORȚATĂ TIP EMMET

Primele cazane cu mercur au fost construite și realizate după ideea lui Emmet (S.U.A.), pentru centralele Dutch - Point, South Meadow, Schenectady și Kearny. Cazanul Emmet, pentru o instalație cu o putere de 23000 kW, are în partea de jos a cazanului focarul pentru arderea combustibilului. Deasupra focarului, în partea de sus, sunt situați șapte tamburi, cu fascicole de țevi în formă de evantai. Deasupra tamburilor sunt așezați economizorii de mercur, conducta de vapori de mercur și supraîncălzitorul cu gaze, după care gazele trec în economizorul de apă și apoi în preîncălzitorul de aer. Deasupra cazanului este așezată turbina cu mercur și generatorul electric. Vaporii de mercur care au lucrat în turbină, ajung în condensatori, de unde prin cădere naturală se întorc în economizorul de mercur, învingând diferența de presiune dintre condensator și cazan, datorită greutatei coloanei de mercur lichid din conducta verticală de mercur. Este posibilă și așezarea turbinelor cu mercur la partea inferioară și aducerea mercurului în cazan cu ajutorul pompei. Elementul de bază al cazanului Emmet este tamburul cu diametrul de 862 mm, la care sunt legate elementele de vaporizare în formă de țevi Field (fig. 1.2).

Țeava Field are un diametru de de circa 80 mm. În țeava Field se află introdus un tub prevăzut cu o țeavă interioară, între tub și țeava interioară spațiul rămânând liber. De asemenea, între tub și peretele interior al țevii Field rămâne un spațiu de circa 3 mm. La capătul său de jos, țeava exterioară este sudată. În interiorul tubului sunt așezate o semibucșă de fontă și placa de distribuție în care sunt mandrinate țevile interioare ale elementelor Field. Instalarea semibucșelor în tambur și în țevi este impusă de necesitatea de a obține o umplere minimă cu mercur a cazanului. Prin țeava interioară, mercurul lichid coboară în partea de jos a țevii Field, de unde prin interstițiul dintre semibucșe și țeavă se ridică, datorită încălzirii din exterior a țevilor (prin radiația focarului și prin gazele fierbinți care circulă între țevile Field), ca printr-

un canal de gaze. În fiecare tambur sunt introduse 440 de țevi Field cu o lungime de circa 1,7 m. Din cauza diferenței mari dintre greutatea specifică a mercurului lichid din țeava interioară și amestecul vapori - lichid de mercur din spațiul exterior, în aceste țevi se creează un multiplu considerabil al circulației, de până la 50 și chiar mai mare.

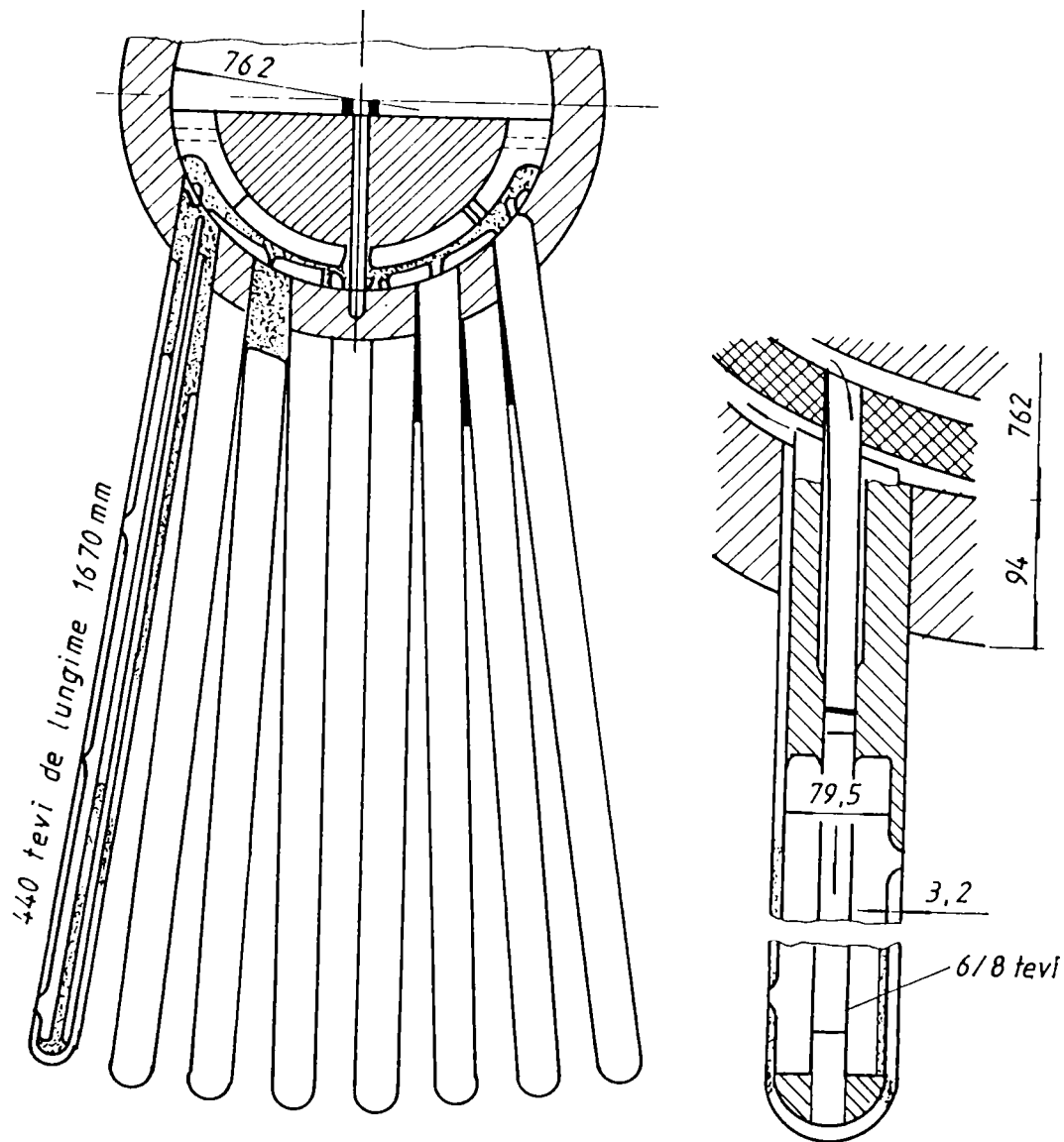


Fig. 1.2.

Din cauza multiplului atât de mare de circulație, la cazanele cu mercur și mai ales la cazanul Emmet, se observă următorul fenomen: înălțimea coloanei de mercur de circa 1,5 - 2 m creează o diferență de presiune de circa 1,5 atm, între suprafața de vaporizare a tamburului și partea inferioară a țevii Field. Mercurul, încălzit pe suprafața de vaporizare până la temperatura de fierbere, care corespunde presiunii existente, se apropie datorită circulației, de partea inferioară a țevii Field, unde, în cazul unei presiuni mai înalte, temperatura nu mai este suficientă pentru fierbere. Căldura care se obține datorită radiației în partea inferioară a suprafeței de încălzire a

țevii Field, la un multiplu mare de circulație a mercurului, nu este suficientă pentru încălzirea cantităților mari de mercur în circulație până la punctul de fierbere și vaporizare; de aceea, partea inferioară a țevii Field este întotdeauna umplută cu mercur lichid. Pe măsură ce mercurul lichid se mișcă în sus prin canalul inelar îngust, la o înălțime oarecare, presiunea mercurului începe să scadă și începe autovaporizarea mercurului, tocmai datorită scăderii presiunii. Vaporii obținuți prin radiația focarului și încălzirea țevelor de gaze se separă în întregime pe suprafața mercurului. Mercurul lichid se scurge înapoi pe canalul interior al țevii Field. Țevile Field sunt astfel caracterizate printr-un multiplu mare de circulație a mercurului, prin prezența mercurului lichid în partea inferioară a țevelor și prin separarea vaporilor de mercur numai în acea parte a suprafeței de încălzire care este parțial apărută de radiația directă a focarului și funcționează cu solicitări termice relativ reduse ale suprafeței de încălzire. În momentul începerii separării vaporilor de mercur și chiar puțin înainte, când temperatura peretelui se apropie de punctul de fierbere al mercurului, care corespunde presiunii pe acest sector al țevii, coeficientul de cedare a căldurii scade considerabil, de la valoarea de 10000...4000 până la 300...400 k cal/m² h grad. Din cauza micșorării solicitărilor termice Q/H din acest sector, care la partea superioară a țevelor Field ajunge până la 10000...30000 kcal/m² h, temperatura peretelui devine mai mare decât temperatura mercurului numai cu 70...100 °C. Astfel, la cazanul Emmet suprafața de încălzire de solicitare mare a vaporizatorului este acoperită întotdeauna cu mercur lichid, iar separarea vaporilor de mercur se face pe suprafețele care au solicitare termică relativ mică. În cazanele mai noi de acest tip, partea superioară a focarului, slab solicitată, este ecranată cu ecrane cu mercur iar partea inferioară a focarului este acoperită cu ecrane obișnuite cu apă, ceea ce înrăutățește întrucâtva randamentul termic al instalației.

Pentru obținerea unei transmisii mai regulate de căldură spre periferiile țevelor, țevile ecranelor cu mercur se acopereau cu mantale de cupru cu câte trei țevi într-o manta.

Cazanul Emmet este peste măsură de scump și complicat din punct de vedere constructiv. Canalele înguste ale țevelor Field se astupă ușor. De aceea, dezvoltarea construcției cazanelor cu mercur s-a îndreptat în ultimii ani într-o altă direcție, apropiind construcția cazanului cu mercur de tipurile obișnuite ale construcțiilor cazanelor de abur.

GENERATOARE DE ABUR CU TUBURI FIELD

O construcție interesantă a unui generator de abur încălzit cu sodiu lichid este cea a generatorului de abur al CNE Hallon, din S.U.A. Aceasta este prevăzută cu un reactor cu neutroni termici, moderat cu grafit și răcit cu sodiu. Centrala este concepută după principiul schemei cu trei circuite și cuprinde șase schimbătoare de căldură și trei generatoare de abur. Puterea termică a centralei este modestă, având doar 256 MW.

În principiu, generatorul de abur se compune din vaporizatorul 2, separatorul 6 și supraîncălzitorul 4. Suprafața de încălzire a vaporizatorului și supraîncălzitorului este executată pe baza principiului schimbătoarelor de căldură de tip Field (fig. 1.3).

Scopul urmărit a fost acela de a asigura deplasarea liberă a capetelor conductelor în timpul dilatării și, prin aceasta, reducerea la minim a solicitărilor în plăcile tubulare la punerea în funcțiune sau la variații de sarcină.

După cum se observă în figura 1.4, peretele exterior al tubului Field este dublu, format din țevile 5 și 6. Pe suprafața exterioară a țevii 6 sunt prevăzute 66 caneluri longitudinale, semicirculare, late de 0,4 mm, care comunică cu cavitățile de control umplute cu heliu. Orice pierdere de etanșeitate dinspre partea apă – abur sau dinspre partea sodiului, atrage după sine creșterea sau scăderea presiunii în cavitatea de control, ceea ce permite declanșarea manevrelor impuse de tehnica securității.

Peretele conductei interioare este de asemenea dublu iar în spațiul dintre cele două conducte se formează un strat intermediar termoizolant, care reduce considerabil schimbul de căldură între curentul mai cald și mai rece de sodiu topit, contribuind în felul acesta la un schimb de căldură mai intens între sodiu și apă sau abur.

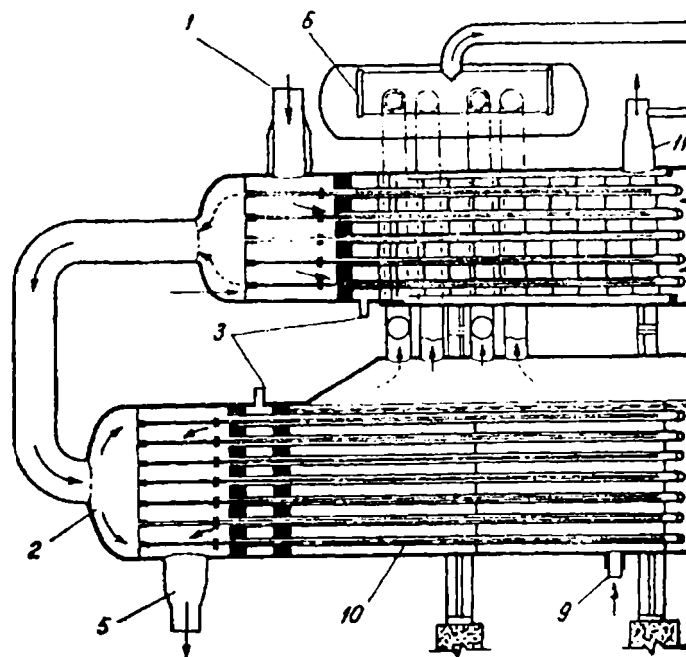


Fig. 1.3. Generatorul de abur cu sodiu lichid din CNE Hallon

- 1- intrarea sodiului; 2- vaporizatorul; 3- stuț; 4- supraîncălzitorul; 5- ieșirea sodiului
6- separatorul; 7- conducta de abur; 8- nivelul apei; 9- intrarea apei; 10- element Bayonet; 11- ieșirea aburului supraîncălzit.

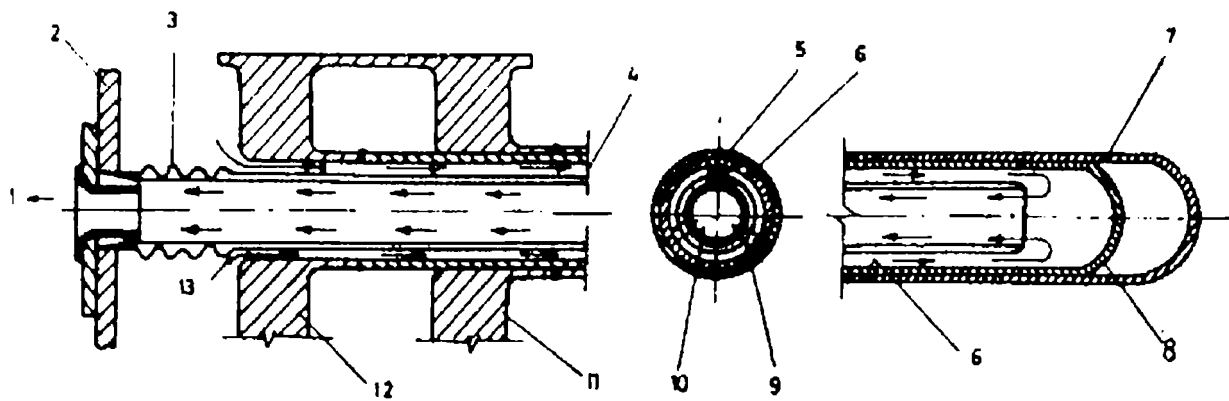


Fig.1.4. Element tip Bayonet

1- racord de evacuare a sodiului răcit; 2- placa tubulară pentru țevile centrale; 3- compensator; 4- țeava centrală; 5,6- tevi exterioare; 7,8- capete sferice de închidere a țevilor exterioare; 9,10- distanțiere; 11,12- pereții laterali ai cavității de control umplute cu heliu; 13- intrarea sodiului.

Circulația celor două medii – cald și rece – în generatorul de abur este în linii generale în contracurent, în sensul că sodiul înaintează de sus în jos iar apa și aburul de jos în sus. Din schimbătorul de căldură intermediar, sodiul ajunge prin racordul 1 (fig. 1.3) în spațiul dintre plăcile tubulare ale supraîncălzitorului, curge prin canalul inelar format între țeava interioară și cea exterioară a celor 560 de elemente Field și se întoarce prin interiorul țevii centrale. Debitul de sodiu este de $1,28 \times 10^6$ kg/h, temperatura la intrare 479°C și la ieșire 443°C . În continuare, sodiul trece în vaporizator, circulă prin interiorul țevii centrale a elementului schimbător de căldură, se întoarce prin canalul inelar exterior și apoi este evacuat prin racordul 5, având temperatura de 290°C . Apa de alimentare intră în vaporizator prin racordul 9, având temperatura de 151°C , circulă prin spațiul liber dintre cele 560 elemente și se transformă în abur saturat la presiunea de circa 63 bar. Nivelul apei, 8, în vaporizator trebuie menținut în mod riguros constant, pentru a evita fie rămânerea descoperită a elementelor de încălzire, fie creșterea excesivă a umidității aburului. Înainte de intrarea în supraîncălzitor, aburul trece prin separatorul 6, de unde prin conducta 7 ajunge în spațiul intertubular al supraîncălzitorului, mărginit la exterior de o manta pentru dirijarea curentului. Supraîncălzit la 468°C , cu presiunea de 62 bar și debitul de $1,14 \times 10^5$ kg/h, aburul este trimis la turbină.

Construcția generatorului de abur permite o purjare nestingherită și evacuarea reziduurilor solide, ceea ce ușurează și reduce lucrările de epurare preliminară a apei de alimentare.

Elementele generatorului de abur care intră în contact cu sodiul la temperaturi sub 344°C , sunt confecționate din oțel carbon, cele ale vaporizatorului care sunt încălzite la temperaturi mai înalte se confecționează din oțel aliat cu crom și molibden iar cele ale supraîncălzitorului tot din oțel cu crom și molibden dar cu altă compoziție.

Un alt generator de abur cu tuburi Field îl reprezintă generatorul de 820 MW, încălzit cu sodiu, al unei CNE din S.U.A., pusă în funcțiune în anul 1980. Debitul de abur supraîncălzit al generatorului este de 1280 t/h, presiunea de 168 bar iar temperatura aburului supraîncălzit de 536°C (fig. 1.5).

Acest generator de abur este de fapt un schimbător de căldură cu fascicul tubular constituit din țevi duble coaxiale (fig 1.6) de $\phi 28,6 \times 3,7$ mm pentru supraîncălzitor și de $\phi 28,6 \times 2,4$ mm pentru economizor și vaporizator.

Sodiul, cu un debit de 11900 t/h și temperatura de 550°C, pătrunde prin racordul 1, circulă de jos în sus printre țevile supraîncălzitorului 4, își schimbă direcția cu 180° și coboară printre țevile vaporizatorului 3 spre racordul de ieșire 2, răcindu-se până la 370°C.

Apa, la presiunea de 180 bar și având temperatura de 254°C, intră prin racordul 5, circulă prin spațiul inelar al elementelor Field (fig. 1.6), se transformă în abur saturat, care prin racordul 6 este condus la un separator de umiditate exterior, de unde se întoarce prin racordul 7 și intră în supraîncălzitorul 4.

Corpul generatorului de abur este confecționat din oțel feritic cu 2,25 % Cr și 1% Mo iar plăcile tubulare, țevile și partea superioară a generatorului de abur sunt realizate din oțel feritic cu un conținut de crom de 9 – 12 %.

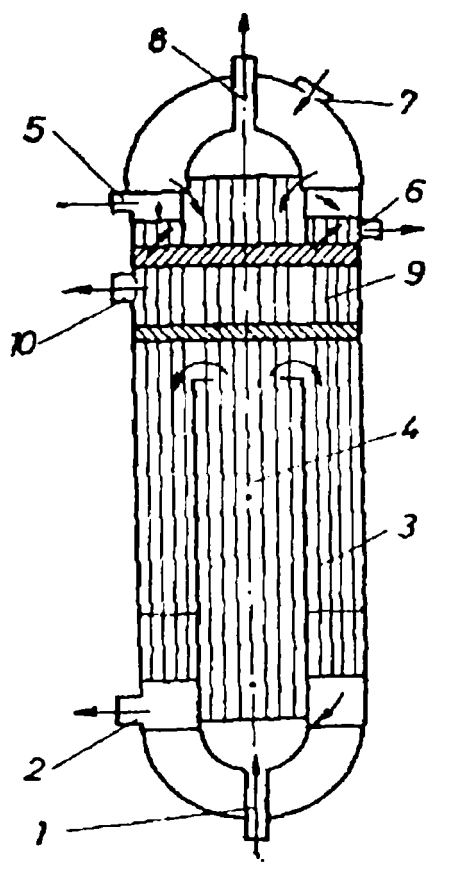


Fig. 1.5. Schema generatorului de abur de 820 MW încălzit cu sodiu.

1,2- intrare, respectiv ieșire sodiu; 3- economizor- vaporizator; 4- supraîncălzitor; 5- intrare apa de alimentare; 6- ieșire abur saturat; 7- intrare abur saturat; 8- ieșire abur supraîncălzit; 9- spațiu de gaz; 10- evacuarea produselor de reacție Na-H₂O.

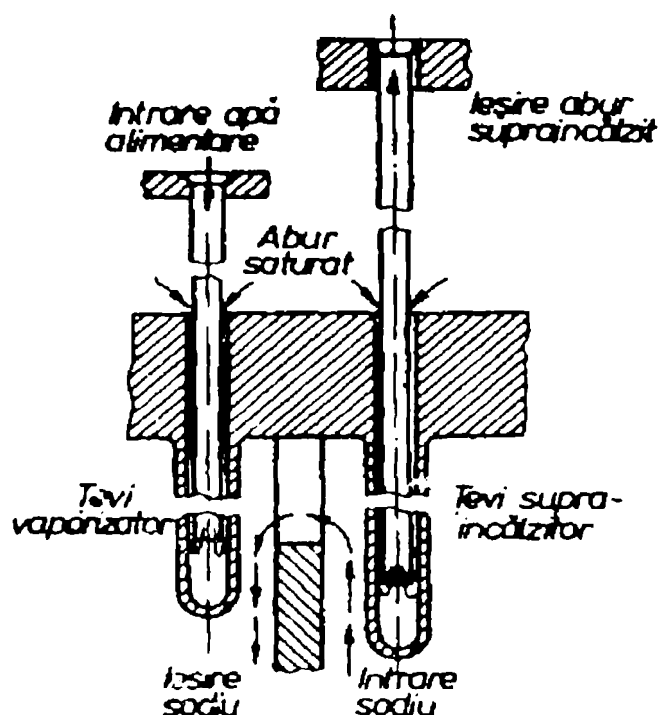


Fig. 1.6. Schema de circulație a agenților termici prin generatorul de abur din fig.1.5.

RECUPERATOARE METALICE

Fiecare element al unui recuperator tubular cu circulație dublă, constă din tuburi cu diametrul de 81/89 mm, introduse concentric în tuburi cu diametrul de 100/108 mm. Tuburile exterioare sunt legate la cutia de refulare a aerului iar tuburile interioare la cutia de admisie a aerului rece (fig. 1.7).

Fiecare tub al recuperatorului are în partea de sus un manșon special, care intră într-un închizător inelar cu nisip. Pentru curățire și examinare poate fi scoasă din recuperator nu numai fiecare cameră de aer, împreună cu elementele ei de încălzire, ci și fiecare element, putând fi astfel relativ ușor de înlocuit. Deoarece numai capetele superioare ale tuburilor sunt fixate, dilatarea lor termică se produce liber. De asemenea, durata de utilizare a acestui recuperator este mai mare decât a recuperatoarelor tubulare obișnuite, deoarece la condiții inițiale de funcționare identice, temperatura peretelui este mai mică. Astfel, căldura primită de peretele tubului exterior este cedată prin convecție aerului și prin radiație tubului interior. În consecință, se produce o activare a schimbului de căldură.

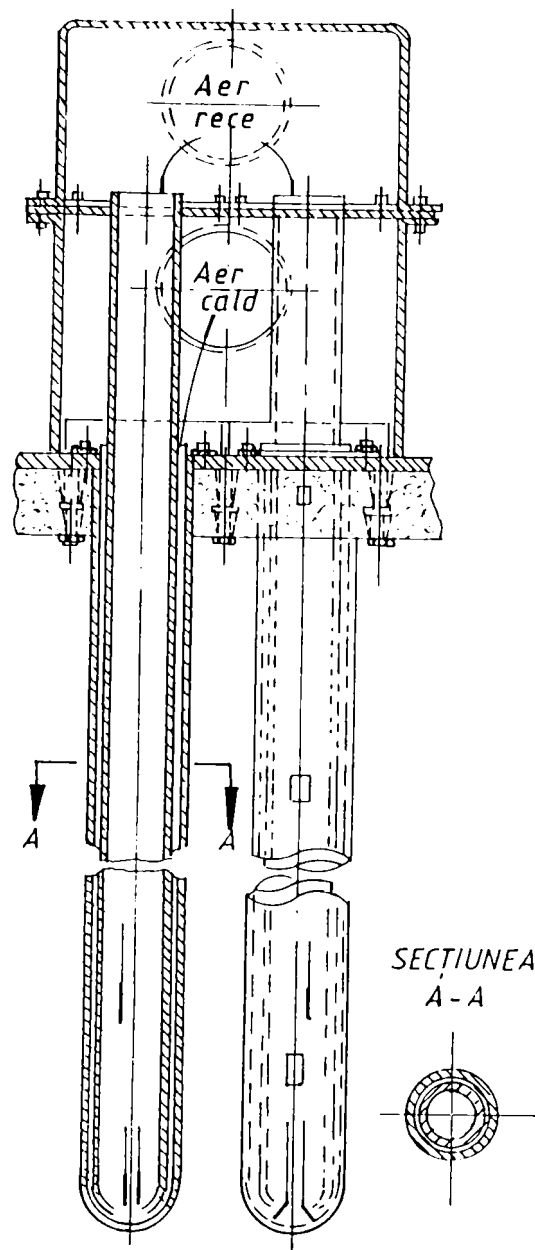


Fig. 1.7.

Dezavantajele acestui recuperator, în comparație cu celelalte tipuri de recuperatoare tubulare, sunt:

- necesitatea unui montaj îngrijit;
- existența închizătoarelor cu nisip, care nu permit utilizarea unor presiuni ridicate de insuflare ale aerului.

Acest din urmă dezavantaj se înlătură dacă se folosește construcția la care atât tubul exterior, cât și tubul interior sunt asamblate etanș cu cutia de admisie și de refulare a aerului.

Principalele avantaje ale recuperatoarelor de tipul tub în tub, sunt:

- simplitatea confecționării;
- nu necesită întreruperea funcționării cuptorului atunci când se montează;
- nu necesită loc liber pentru montaj;
- întreținerea ușoară în timpul exploatării și funcționarea sigură;

- încălzirea se face rapid; pereții tuburilor fiind relativ subțiri, căldura se transmite repede din zona mai caldă în zona mai rece a recuperatorului, fapt care înlătură depunerile de funingine în perioada de pornire a cuptorului;

- când coșul de fum al cuptorului este montat într-o hală încălzită, înlăturându-se în bună parte pierderile de căldură în mediul ambiant, se îmbunătățesc condițiile de muncă ale personalului;

- nu se introduce o pierdere de presiune suplimentară pe traseul gazelor de ardere.

În SUA, un grup de cercetători comunică despre schimbătoare de căldură "ULTRA" care lucrează la temperaturi foarte înalte, de până la 1400 °C, elementele schimbătoare fiind de tip Field, realizate din ceramică.

Firma Cometec din SUA produce o gamă variată de schimbătoare pentru industria chimică, schimbătoare din tantal și niobiu, printre care și schimbătoare tip Field (fig. 1.8 și fig. 1.9).

De asemenea, aceste schimbătoare se folosesc și la răcirea instalațiilor aerospațiale și în medicină, unde lucrează la debite mici dar cu performanțe ridicate.

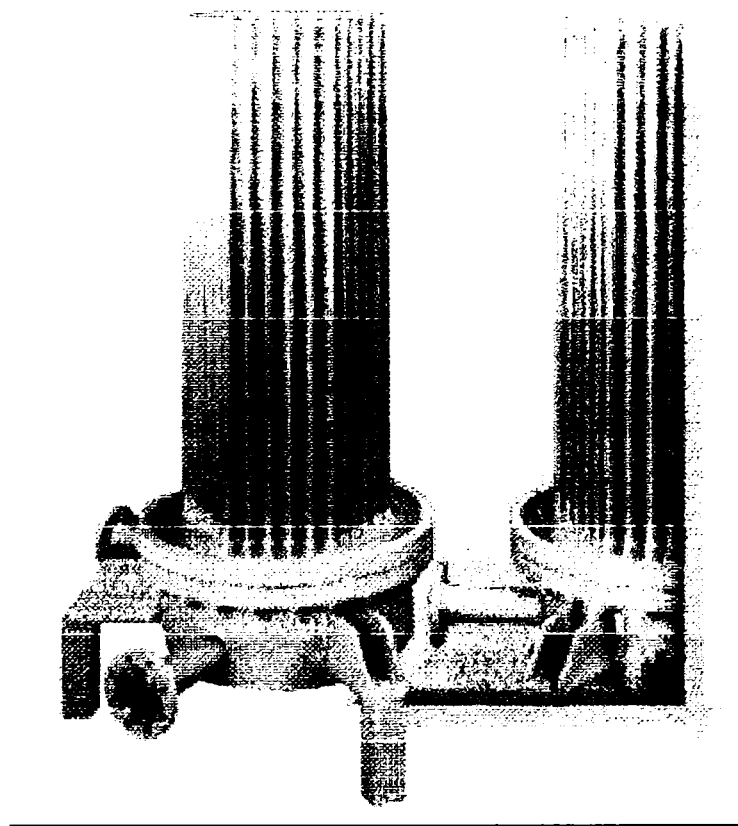


Fig. 1.8.



Fig. 1.9.

CAPITOLUL 2

MODELUL MATEMATIC PENTRU EVALUAREA TERMOGAZODINAMICII TUBURILOR FIELD LISE ȘI CU ELEMENTE DE TURBULENȚĂ NERVURATE ÎN REGIM LAMINAR

2.1. MODELAREA NUMERICĂ A TRANSFERULUI TERMIC ȘI A PROCESELOR DE CURGERE LAMINARĂ PRIN TUBURI

DISCRETIZAREA ECUAȚIILOR DIFERENȚIALE

Procedeul de soluționare numerică a ecuațiilor diferențiale [11,12] este compus din două faze. În prima, se obțin ecuații algebrice ca urmare a discretizării ecuațiilor (2.1.1 – 2.1.3). În cea de-a doua fază se rezolvă acest sistem de ecuații algebrice. Având în vedere că ecuațiile sunt neliniare, această soluționare, de regulă, se obține printr-o metodă iterativă. În continuare, din motive de simplificare, se va urmări un caz unidimensional descris de ecuația 2.1.4 (simbolurile utilizate în anexa A1)

$$\frac{\partial p}{\partial \tau} + \frac{\partial(\rho u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w)}{\partial z} = 0 \quad (2.1.1)$$

$$\frac{\partial}{\partial \tau} (p \cdot u_j) + \text{div}(p \cdot u \cdot u_j) = -\frac{\partial p}{\partial x_j} + \text{div}(\mu \cdot \text{grad} \cdot u_j) \quad (2.1.2)$$

$$\frac{\partial}{\partial \tau} (\rho T) + \text{div}(\rho \cdot u_j \cdot T) = \text{div}\left(\frac{\lambda}{C_p} \text{grad} T\right) \quad (2.1.3)$$

$$\frac{d}{dx}(\rho u \phi) = \frac{d}{dx}\left(\Gamma \frac{d\phi}{dx}\right) \quad (2.1.4)$$

Această ecuație are soluție de forma generală:

$$\phi = C_{1e}^{-m\phi} + C_{2e}^{-n\phi} \quad (2.1.5)$$

și pentru condițiile limită pe domeniul $0 < x < \delta x_e$:

$$x=0; \phi=\phi_P;$$

$$x=L; \phi=\phi_E$$

soluția ecuației (2.1.1.) este:

$$\frac{\phi - \phi_P}{\phi_E - \phi_P} = \frac{e^{\frac{Px}{\delta x_e}} - 1}{e^P - 1} \quad (2.1.6)$$

unde P este invariantul Peclet, adică raportul a două moduri de transfer prin convecție și difuzie:

$$P_e = \frac{(\rho u)_e \delta_e}{\Gamma_e} \quad (2.1.7)$$

cu F_e și D_e sunt notați debitul, respectiv coeficientul de difuziune:

$$F_e = (\rho u)_e, \quad D_e = \frac{\Gamma_e}{\delta x_e} \quad (2.1.8)$$

2.1.1. SCHEMA EXPONENȚIALĂ

Considerând fluxul total compus din cel convectiv $pu\phi$ și cel prin difuziune $-\Gamma d\phi/dx$:

$$J = p \cdot u \cdot \phi - \Gamma \frac{d\phi}{dx} \quad (2.1.9)$$

ecuația 2.1.1 devine:

$$\frac{dJ}{dx} = 0 \quad (2.1.10)$$

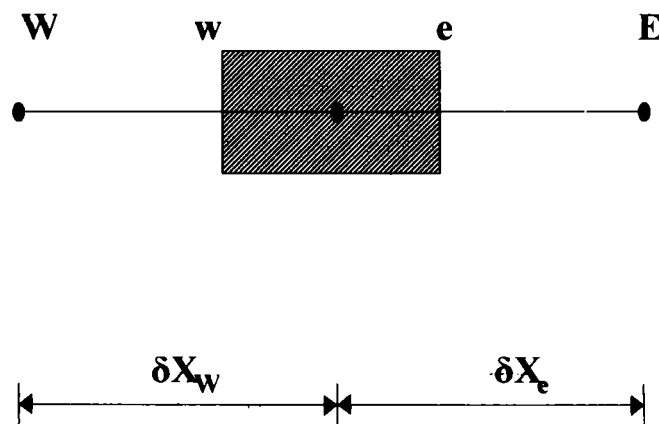


Fig. 2.1.1. Volumul elementar

Integrând această ecuație în jurul volumului elementar (figura 2.1.1.) se obține:

$$J_e - J_w = 0 \quad (2.1.11.)$$

Introducând profilul de variației 2.1.3. unei variabile independente ϕ dintre punctele \dot{P} și E, ecuația 2.1.9. se obține fluxul total J_e :

$$J_e = F_e \left(\phi_P + \frac{\phi_P - \phi_E}{e^{P_e} - 1} \right) \quad (2.1.12)$$

În fine substituind ecuația 2.1.12. și cea similară pentru J_w în ecuația 2.1.11. se obține:

$$F_e \left(\phi_P + \frac{\phi_P - \phi_E}{e^{P_e} - 1} \right) - F_w \left(\phi_W + \frac{\phi_W - \phi_P}{e^{P_w} - 1} \right) = 0 \quad (2.1.13)$$

care se poate aranja într-o formă standard:

$$a_P \phi_P = a_E \phi_E + a_W \phi_W \quad (2.1.14)$$

cu coeficienții:

$$a_E = \frac{F_e}{e^{D_e} - 1} \quad (2.1.15a)$$

$$a_W = \frac{F_w \cdot e^{D_w}}{e^{D_w} - 1} \quad (2.1.15b)$$

$$a_P = a_E + a_W + (F_e - F_w) \quad (2.1.16)$$

Acești coeficienți definesc schema exponențială, și anume profilul de variație a unei variabile dintre punctul P și punctele vecine E, respectiv W. Având în vedere că într-un program există un număr mare de calcule cu astfel de relații, avem nevoie de o alta schemă care, pe de o parte va păstra profilul de variație, iar pe de altă parte va fi mai simplu de calculat.

2.1.2. SCHEMA POWER-LAW

S-a propus o nouă schemă, care are o astfel de variație:

1. Pentru $P_e < -10$,

$$\frac{a_E}{D_e} = -P_e \quad (2.1.17a)$$

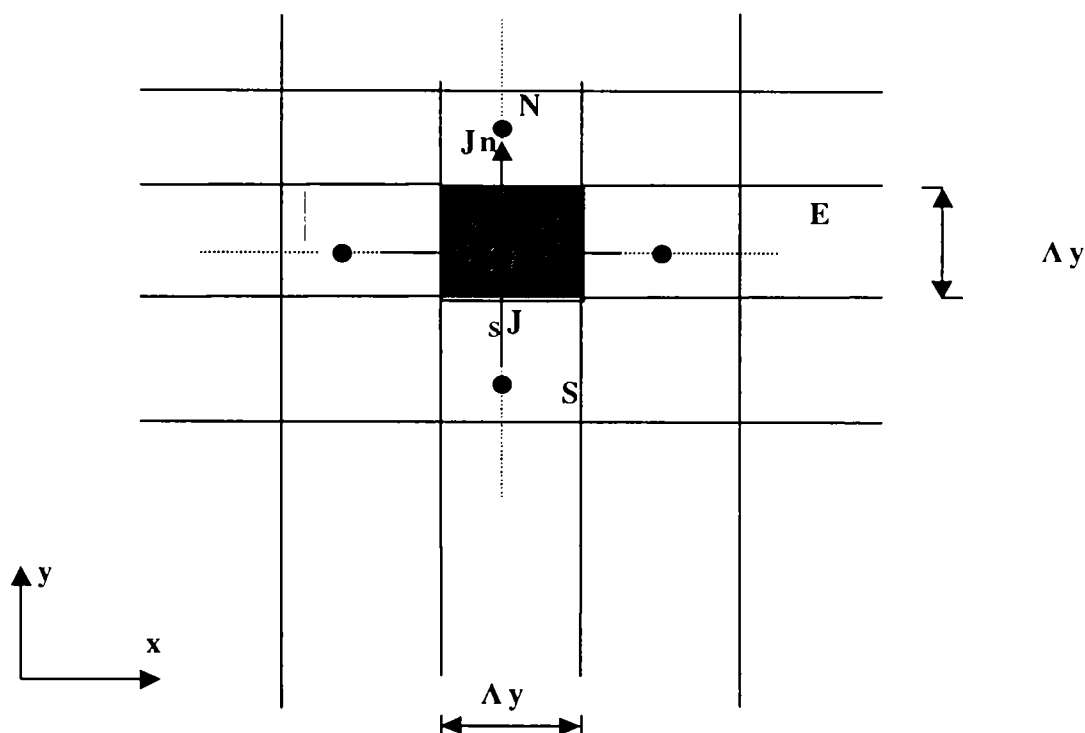
2. Pentru $-10 \leq P_e < 0$,

Handwritten note: $P_e = 357 / 1912$

$$\frac{a_E}{D_e} = (1 + 0.1 P_e)^5 - P_e \quad (2.1.17b)$$

3. Pentru $0 \leq P_e \leq 10$,

$$\frac{a_E}{D_e} = (1 - 0.1 P_e)^5 \quad (2.1.17c)$$



4. Pentru $P_e > 10$,

$$\frac{a_E}{D_e} = 0 \quad (2.1.17.d)$$

Forma compactă a relațiilor 2.1.17 este:

$$a_E = D_e \text{AMAX1}((1 - 0.1 P_e)^5, 0) + \text{AMAX1}(-F_e, 0) \quad (2.1.18)$$

2.1.3. ECUAȚIA DISCRETIZATĂ BIDIMENSIONALĂ

Integrând ecuația generală în jurul volumului elementar din fig. 2.1.2., se obține:

$$\frac{\rho_P \phi_P - \rho_P^0 \phi_P^0}{\Delta \tau} + J_e - J_w + J_n - J_s = (S_c + S_p \phi_p) \Delta x \Delta y \quad (2.1.19)$$

unde S_c și S_p sunt componente constante, respectiv dependente ale termenului sursă; ρ_p și ϕ_p densitatea și variabila dependentă se presupun constante pe întreg volumul elementar Δx și Δy ; aceste mărimi cu indice 0 sunt notate cele din momentul de timp anterior, iar variația acestora în timp este implicită; fluxurile totale J_e, J_w, J_n, J_s au aceeași definiție ca și în ecuația 2.1.9.

În mod similar se obține și ecuația de continuitate:

$$\frac{\rho_p - \rho_p^0}{\Delta \tau} + F_e - F_w + F_n - F_s = 0 \quad (2.1.20)$$

unde F_e, F_w, F_s și F_n sunt debitele prin suprafețele volumului elementar, și anume:

$$F_e = (\rho u)_e \Delta y \quad (2.1.20a)$$

$$F_w = (\rho u)_w \Delta y \quad (2.1.20b)$$

$$F_n = (\rho u)_n \Delta x \quad (2.1.20c)$$

$$F_s = (\rho u)_s \Delta x \quad (2.1.20d)$$

În continuare înmulțim ecuația 2.1.20 cu ϕ_p și scădem aceeași ecuație din ecuația 2.1.19 și se obține:

$$\begin{aligned} (\phi_p - \phi_p^0) \frac{\rho_p^0 \Delta x \Delta y}{\Delta \tau} + (J_e - F_e \phi_p) - (J_w - F_w \phi_p) + (J_n - F_n \phi_p) - (J_s - F_s \phi_p) \\ = (S_c + S_p \phi_p) \Delta x \Delta y \end{aligned} \quad (2.1.21)$$

Având în vedere ecuațiile:

$$J - P \phi_i = A(P) (\phi_i - \phi_{i+1})$$

$J - P \phi_i = A(P) (\phi_i - \phi_{i+1})$, relațiile de forma $J - F \phi$ se exprimă astfel:

$$J_e - F_e \phi_p = a_E (\phi_p - \phi_E) \quad (2.1.22a)$$

$$J_w - F_w \phi_p = a_w (\phi_w - \phi_p) \quad (2.1.22b)$$

unde:

$$a_E = D_e A(|P_e|) + \text{AMAX1}(-F_e, 0) \quad (2.1.23a)$$

$$a_w = D_w A(|P_w|) + \text{AMAX1}(F_w, 0) \quad (2.1.23b)$$

Acum se poate scrie ecuația discretizată în forma finală, după cum urmează:

$$a_p \phi_p = a_E \phi_E + a_w \phi_w + a_n \phi_n + a_s \phi_s + b \quad (2.1.24)$$

iar coeficienții:

$$a_E = D_e A(|P_e|) + \text{AMAX1}(-F_e, 0) \quad (2.1.25a)$$

$$a_w = D_w A(|P_w|) + \text{AMAX1}(F_w, 0) \quad (2.1.25b)$$

$$a_N = D_n A(|P_n|) + \text{AMAX1}(-F_n, 0) \quad (2.1.25c)$$

$$a_S = D_s A(|P_s|) + \text{AMAX1}(F_s, 0) \quad (2.1.25d)$$

$$a_P^0 = \frac{\rho_P^0 \Delta x \Delta y}{\Delta \tau} \quad (2.1.25e)$$

$$b = S_c \Delta x \Delta y + a_P^0 \phi_P^0 \quad (2.1.25f)$$

$$a_P = a_E + a_W + a_N + a_S + a_P^0 - S_P \Delta x \Delta y \quad (2.1.25g)$$

ϕ_{P0} și ρ_{P0} se referă la valorile din timpul t , iar celelalte valori ϕ_P , ϕ_E , ϕ_W , ϕ_N , ϕ_S în timpul $t + \Delta t$. Debitele și conductivitățile sunt după cum urmează:

$$F_e = (\rho u)_e \Delta y; D_e = \frac{\Gamma_e \Delta y}{\delta x_e} \quad (2.1.26a)$$

$$F_w = (\rho u)_w \Delta y; D_w = \frac{\Gamma_w \Delta y}{\delta x_w} \quad (2.1.26b)$$

$$F_n = (\rho v)_n \Delta x; D_n = \frac{\Gamma_n \Delta x}{\delta y_n} \quad (2.1.26c)$$

$$F_s = (\rho v)_s \Delta x; D_s = \frac{\Gamma_s \Delta x}{\delta y_s} \quad (2.1.26d)$$

iar invarianții *Peclet*:

$$P_e = \frac{F_e}{D_e}; P_w = \frac{F_w}{D_w}; P_n = \frac{F_n}{D_n}; P_s = \frac{F_s}{D_s}; \quad (2.1.26e)$$

Relația $A(|P|)$ poate fi aleasă din tabelul I. Pentru un caz simplu în care $\phi_E=1$ iar $\phi_W=0$ și distanțele $(\delta x)_e$, $(\delta x)_w$ din fig. 2.1.1. sunt egale, în fig. 2.1.3. s-au prezentat variațiile lui ϕ_P pentru diferite scheme.

Din diagrama 2.1.3. reiese că, exceptând modelul cu diferențe centrate, toate schemele de discretizare dau soluții reale din punct de vedere fizic. Se observă că pentru valori mai mari ale invariantului *Peclet*, modelul cu diferențe centrate iese din limitele propuse inițial ($\phi_E=1$ și $\phi_W=0$). Remedierea acestei deficiențe constă în alegerea pasului mai mic, astfel încât valoarea criteriului *Peclet* să devină mai mică de 2, ceea ce nu este întotdeauna posibil. Pe de altă parte, din diagrama 2.1.3. rezultă că *schema power-law* este cea mai apropiată de modelul exponențial.

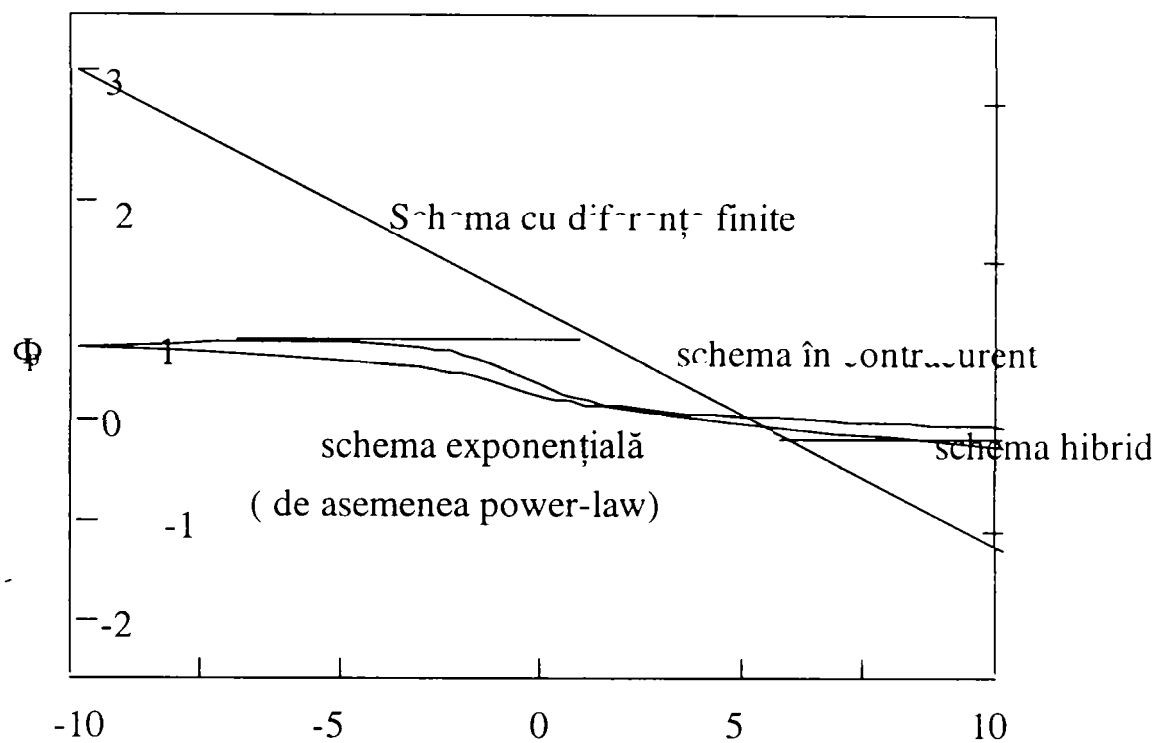


Fig. 2.1.3. Variația variabilei ϕ pentru diferite scheme

Tabelul 1
Modele de discretizare

| Schema de variație | Relația pentru $A(P)$ |
|------------------------|-------------------------|
| Diferențe centrate | $1-0.5 P $ |
| Schema în contracurent | 1 |
| Schema hibrid | $AMAX1(0.1-0.5 P)$ |
| Schema Power law | $AMAX1(0.(1-0.1 P)^5)$ |
| Schema exponențială | $ P /(\exp(P -1))$ |

2.1.4. REZOLVAREA SISTEMULUI DE ECUAȚII ALGEBRICE OBTINUTE CA URMARE A DISCRETIZĂRII ECUAȚIILOR FUNDAMENTALE

Sistemul de ecuații obținut este de regulă neliniar, ceea ce înseamnă că coeficienții din ecuațiile algebrice sunt în funcție de variabila dependentă. Prin urmare, pentru soluționarea acestui sistem folosim una din metodele iterative. În continuare se va prezenta o metodă iterativă care este o combinație a două metode și anume: cea directă (algoritmul matricei tridiagonale TDMA) și metoda iterativă Gauss - Seidel punct cu punct.

2.1.4.1. METODA DIRECTĂ TDMA

Denumirea acestei metode de soluționare este uneori și „eliminările Gaussiene”, sau „algoritmul lui Thomas”. Dacă analizăm un sistem de ecuații pentru o problemă unidimensională, matricea coeficienților acestui sistem de ecuații ne arată că coeficienții după cele trei diagonale din mijloc au valori diferite de zero. Prin urmare, o variabilă dependentă din nodul (i) se poate exprima în funcție de cea din nodul următor (i + 1), și anume:

$$\begin{aligned} \phi(i) &= f(\phi(i+1)), \phi(i+1) = f(\phi(i+2)) \dots\dots\dots & (2.2.1) \\ \dots\dots\dots\phi(N-2) &= f(\phi(N-1)), \phi(N-1) = f(\phi(N)) \end{aligned}$$

Dacă presupunem că nodurile din figura 2.1.1.sunt 1, 2, 3, ..., N, cu nodurile limită 1 și N, ecuația 2.1.14 se poate scrie astfel:

$$a_i\phi_i = b_i\phi_i + c_i\phi_{i-1} + d_i \quad (2.2.2)$$

Având în vedere cele menționate mai sus, presupunem că la un moment dat, prin substituție se obține:

$$\phi_i = P_i\phi_{i+1} + Q_i \quad (2.2.3)$$

imediat după ce s-a obținut:

$$\phi_{i-1} = P_{i-1}\phi_i + Q_{i-1} \quad (2.2.4)$$

Înlocuind ecuația 2.2.4 în 2.2.2 se obține:

$$a_i\phi_i = b_i\phi_{i+1} + c_i(P_{i-1}\phi_i + Q_{i-1}) + d_i \quad (2.2.5)$$

Analizând acest proces de substituiri succesive se poate observa că este posibilă o transformare a ecuației 2.2.3 într-una similară, cu următoarele relații pentru coeficienții P, respectiv Q:

$$P_i = \frac{b_i}{a_i - c_i P_{i-1}} \quad (2.2.6a)$$

$$Q_i = \frac{d_i + c_i Q_{i-1}}{a_i - c_i P_{i-1}} \quad (2.2.6b)$$

Pentru începutul procesului de substituire în nodul ($i = 1$) valorile lui P_1 și Q_1 sunt :

$$P_1 = \frac{b_1}{a_1} ; Q_1 = \frac{d_1}{a_1} \quad (2.2.7)$$

iar la capătul acestui proces (în nodul $i = N$) se obține:

$$\phi_N = Q_N \quad (2.2.8)$$

În continuare se poate executa o substituire succesivă în sens opus prin ecuația 2.2.3.

În final se poate scrie algoritmul acestei metode:

1. Calculăm coeficienții P_1 și Q_1 cu ecuațiile 2.2.7.
2. Pentru nodurile $i = 2, 3, \dots, N$ obținem P_i și Q_i cu relațiile 2.2.6.
3. $\phi_N = Q_N$
4. Cu ecuația 2.2.3. începe substituția inversă și se obțin valorile pentru $\phi_{N-1}, \phi_N, \dots, \phi_3, \phi_2, \phi_1$.

2.1.4.2. SOLUȚIONAREA ECUAȚIILOR DE MIȘCARE

În subcapitolul 2.1 s-a presupus că se cunoaște câmpul de viteze, ceea ce nu se întâmplă de regulă. În cazul în care forma acestuia nu se știe, trebuie rezolvate ecuațiile de mișcare (Navier - Stokes). Pentru a rezolva aceste ecuații trebuie să știm care sunt căderile de presiune $\partial p / \partial x$ și $\partial p / \partial y$ (pentru un caz bidimensional), adică în forma discretizată ($p_w - p_e$) și ($p_s - p_n$). Se presupune un profil liniar de variație iar suprafețele volumului elementar sunt la mijlocul distanței dintre nodurile W, P și E (fig. 2.1.1.).

În cazul acesta, căderea de presiune este:

$$P_w + P_e = \frac{P_w + P_p}{2} - \frac{P_p + P_e}{2} = \frac{P_w - P_e}{2} \quad (2.2.9)$$

Din relația 2.2.9. rezultă următoarea observație: căderea de presiune există numai între nodurile alternante, nu și cele adiacente. Din aceasta ar rezulta că diferența de presiune nu are nici o influență asupra câmpului de viteze. Remedierea acestei probleme este posibilă prin două căi, și anume:

1. Alegerea unui model de interpolare corespunzător pe suprafețele volumului elementar.

2. Folosirea unei grile decalate față de cea principală pentru viteze, astfel încât nodul grilei decalate să fie pe suprafața volumului elementar din grila principală (fig. 2.2.1).

Avantajul acestei remedieri constă în faptul că:

1. Se evită dispunerea în zig-zag a câmpului de presiune

2. Obținem valorile vitezelor acolo unde avem nevoie de ele, pe suprafața volumului elementar.

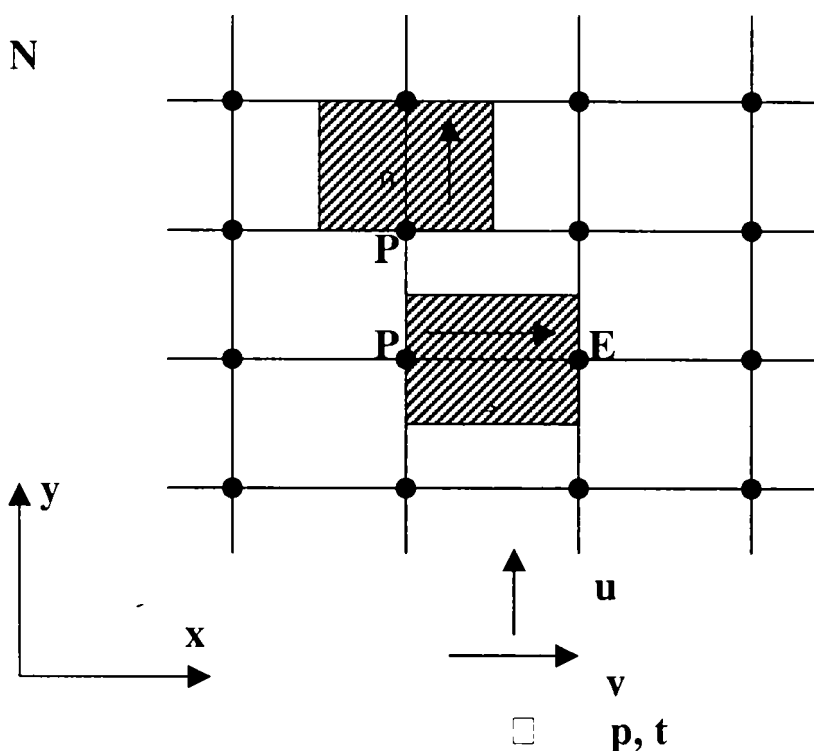


Fig. 2.2.1. Rețele decalate

Ecuția de mișcare a fluidelor vâscoase în forma discretizată o putem scrie și astfel:

$$a_p u_p = \sum a_{nb} u_{nb} + (p_p - p_E) A_e \quad (2.2.10a)$$

$$a_p v_p = \sum a_{nb} v_{nb} + b + (p_p - p_N) A_n \quad (2.2.10b)$$

Suprafețele A_e și A_n sunt cele pe care acționează diferența de presiune. În cazul în care cunoaștem aceste căderi de presiune putem rezolva acest sistem de ecuații după procedeul prezentat anterior. Prin urmare, câmpul de viteze se poate obține numai în cazul în care câmpul de presiune este dat, sau este estimat într-un mod. În momentul în care câmpul de presiune este obținut corect, câmpul de viteze care rezultă verifică principiul de continuitate.

Dacă notăm presiunea estimată cu p^* iar vitezele care rezultă cu u^* și v^* ecuațiile 2.2.10a și b se pot scrie astfel:

$$a_e u_e^* = \sum a_{nb} u_{nb}^* + b + (p_p^* - p_E^*) A_e \quad (2.2.11.a)$$

$$a_n v_n^* = \sum a_{nb} v_{nb}^* + b + (p_P^* - p_N^*) A_n \quad (2.2.11.b)$$

Corecțiile de presiune și viteze

Presupunând că presiunea estimată este p^* iar corecția acesteia este p' se poate scrie:

$$p = p^* + p' \quad (2.2.12)$$

iar corecțiile de viteze corespunzătoare:

$$u = u^* + u' \quad (2.2.13a)$$

$$v = v^* + v' \quad (2.2.13b)$$

Prin scăderea ecuației 2.2.11.a din 2.2.10.a se obține:

$$a_e u_e' = \sum a_{nb} u_{nb}' + (p_P' - p_E') A_e \quad (2.2.14)$$

Luând în considerare că termenul sumei are o valoare neglijabilă, rezultă:

$$a_e u_e' = (p_P' - p_E') A_e \quad (2.2.15)$$

sau

$$u_e' = d_e (p_P' - p_E') \quad (2.2.16)$$

unde:

$$d_e = \frac{A_e}{a_e} \quad (2.2.17)$$

în final rezultă relația pentru corecția vitezei u :

$$u_e = u_e^* + d_e (p_P' - p_E') \quad (2.2.18a)$$

și similar pentru viteza v :

$$v_n = v_n^* + d_n (p_P' - p_N') \quad (2.2.18b)$$

Ecuația corecțiilor de presiune

În conformitate cu prezumțiile anterioare, ecuația de continuitate în formă discretizată este:

$$\frac{(\rho_p - \rho_p^0)\Delta x \Delta y}{\Delta \tau} + [(\rho u)_e - (\rho u)_w]\Delta y + [(\rho v)_n - (\rho v)_s]\Delta x = 0 \quad (2.2.19)$$

Prin substituirea ecuațiilor 2.2.18 în ecuația de continuitate 2.2.19 și prin rearanjarea ei se obține ecuația pentru corecția presiunilor:

$$a_{pp} p' = a_{Ep}' + a_{wp}' + a_{NpN}' + a_{SpS}' + b \quad (2.2.20)$$

unde:

$$a_E = \rho_e d_e \Delta y \quad (2.2.21a)$$

$$a_W = \rho_w d_w \Delta y \quad (2.2.21b)$$

$$a_N = \rho_n d_n \Delta x \quad (2.2.21c)$$

$$a_S = \rho_s d_s \Delta x \quad (2.2.21d)$$

$$b = \frac{(\rho_p^0 - \rho_p)\Delta x \Delta y}{\Delta \tau} + [(\rho u^*)_w - (\rho u^*)_e]\Delta y + [(\rho v^*)_s - (\rho v^*)_n]\Delta x \quad (2.2.21e)$$

Ultima din relațiile 2.2.21 reprezintă ecuația de continuitate pentru vitezele estimate. Se observă că în momentul în care vitezele cu * verifică ecuația de continuitate împreună cu $(\rho_p^0 - \rho_p)$, ecuația de corecție a presiunilor nu mai este indispensabilă.

Cu alte cuvinte se poate spune că b reprezintă o *sursă de masă*, ca urmare a câmpului de presiune incorect. Rolul ecuației corecției de presiuni este tocmai să anihileze această sursă creată b .

2.1.4.3. METODA SIMPLE

Având toate ecuațiile necesare prezentării acestei metode, putem scrie algoritmul:

1. Estimarea câmpului de presiune p^*
2. Rezolvarea ecuațiilor de mișcare 2.2.14 pentru a obține u^* și v^* .
3. Rezolvarea ecuației pentru corecția presiunilor p' .
4. Corectarea vitezelor și a presiunilor
5. Rezolvarea ecuațiilor generale pentru ϕ
6. Ultima valoare obținută pentru p este acum p^* , se repetă procedeul 2-6 până când se obține convergența.

2.1.4.4. METODA SIMPLER

S-a observat că din cauza omiterii termenului sumă din ecuația 2.2.14, corecția vitezelor se obține pe seama corecțiilor pentru presiune, la această corecție necontribuind și corecțiile pentru viteze din nodurile vecine. Rezultă corecții pentru presiune mai mari, ceea ce arată că în acest caz corecțiile pentru presiune corectează bine vitezele și foarte slab presiunea.

De aceea s-a căutat un alt mod de corectare a presiunii. În primul rând se scrie ecuația de mișcare a fluidelor vâscoase în forma:

$$u_e = \frac{\sum a_{ib} u_{ib} + b}{a_e} + d_e (p_P - p_E) \quad (2.2.22)$$

Definim pseudoviteza ca mărimea compusă din vitezele vecine:

$$u_e = \frac{\sum a_{ib} u_{ib} + b}{a_e} \quad (2.2.23)$$

Ecuația 2.2.22 devine:

$$u_e = u_e + d_e (p_P - p_E) \quad (2.2.24a)$$

iar cea similară pentru viteza v :

$$v_n = v_n + (p_P - p_N) \quad (2.2.24b)$$

Introducând aceste relații în ecuația de continuitate, similar cazului corecțiilor pentru presiune se obține:

$$a_P p_P = a_E p_E + a_W p_W + a_N p_N + a_S p_S + b \quad (2.2.25)$$

unde coeficienții a se calculează cu ecuațiile 2.2.24, iar b este:

$$b = \frac{\rho_P^0 - \rho_P}{\Delta \tau} + [(\rho u)_w - (\rho u)_e] \Delta y + [(\rho v)_s - (\rho v)_n] \Delta x \quad (2.2.26)$$

Față de ecuația pentru corecția presiunilor, în derivarea acestei ecuații nu s-a omis nici un termen. Din aceasta rezultă că în momentul în care câmpul de viteze este corect luat în calculul pseudovitezelor, ecuațiile pentru presiune vor da câmpul corect de presiune.

Algoritmul metodei SIMPLER este:

1. Estimăm câmpul de viteze
2. Calculăm pseudovitezele u, v
3. Rezolvăm ecuațiile pentru presiune

4. Estimăm presiunea p la valoarea p^* și rezolvăm ecuațiile de mișcare prin care obținem u^* și v^{**}
5. Calculăm *sursa de masă* b , apoi rezolvăm ecuațiile pentru corecția presiunilor.
6. Corectăm vitezele u și v
7. Rezolvăm alte ecuații discretizate pentru ϕ .
8. Repetăm procedeul 2-7, până anihilăm b .

2.1.4.5. CURGEREA PARABOLICĂ SAU TRATAREA CĂDERII DE PRESIUNE AXIALE

Scopul acestui studiu fiind curgerea laminară prin tuburi, analiza anterioară n-a fost extinsă și la alte tipuri de curgere. Curgerea laminară poate fi aproximată ca o curgere în stratul limită tridimensional (în literatura de specialitate acest tip de curgere uneori se numește și curgerea parabolică, față de cea eliptică) [13]. În acest caz curgerea are următoarele trăsături:

- Există o direcție predominantă a curgerii, adică nu apar curgeri reversibile.
- Difuziunea momentului, energiei termice și masei în această direcție este neglijabilă.
- Câmpul de presiune din aval are o influență neglijabilă asupra condițiilor de curgere din amonte.

Conform prezumpțiilor anterioare, separăm câmpul de presiune axial de cele laterale: Cu alte cuvinte, înainte de a soluționa căderile de presiune laterale $\partial p / \partial x$ sau $\partial p / \partial y$, trebuie să știm care este căderea de presiune axială dp/dz , altfel nu putem înainta cu soluționarea în secțiunea următoare. Această tratare diferită a celor două câmpuri de presiune, se poate interpreta în felul următor: câmpul de presiune are o valoare medie pe secțiune, iar căderile de presiune laterale sunt niște abateri de la cel mediu. Astfel, putem trata curgerea laminară prin tuburi, care în sine este o problemă tridimensională, ca o succesiune de cazuri bidimensionale.

Ecuția corecțiilor de presiune 2.2.20 sau ecuația de presiune 2.2.25 este o formă discretizată a ceea ce este în literatura de specialitate cunoscut sub denumirea de ecuația Poisson pentru presiune. Această ecuație este eliptică în toate cele trei direcții, ceea ce nu permite o formă de soluționare secțiune după secțiune. Astfel trebuie cunoscute condițiile limită la ieșirea din tub, ceea ce de fapt dorim să găsim. De aceea considerăm: termenul $\partial^2 p / \partial z^2$ cunoscut și comportarea eliptică a curgerii în direcția x , respectiv y .

Rămâne de explicat obținerea termenului dp/dz . Inițial estimam gradientul axial de presiune $(dp/dz)^*$, iar răspunsul câmpului de viteze w^* ca urmare a acestei estimări este:

$$a_P w_P^* = a_N w_N^* + a_S w_S^* + a_E w_E^* + a_W w_W^* + b + \Delta x \Delta y \left(\frac{\partial p}{\partial z} \right)^* \quad (2.2.27)$$

pentru un regim staționar, debitul fluidului în fiecare secțiune este constant, și anume

$$m = \Sigma \Delta x \Delta y \rho w \quad (2.2.28)$$

Debitul obținut cu acest câmp de viteze estimativ w^* , va avea o valoare diferită de cea adevărată, care poate fi calculată din condițiile de la intrarea în tub și din condițiile limită. Căderea de presiune și vitezele se pot exprima și astfel:

$$\left(\frac{\partial p}{\partial z}\right) = \left(\frac{\partial p}{\partial z}\right)^* + \left(\frac{\partial p}{\partial z}\right), \quad (2.2.29)$$

$$w_p = w_p^* + \frac{\Delta x \Delta y}{a_p} \left(\frac{\partial p}{\partial z}\right) \quad (2.2.30)$$

Introducând această relație pentru viteză în relația 2.2.28 obținem relația pentru corecția căderii de presiune axiale

$$\left(\frac{\partial p}{\partial z}\right) = \frac{m - \sum \rho w^* \Delta x \Delta y}{\sum \rho (\Delta x \Delta y)^2} \quad (2.2.31)$$

Aici putem observa că, față de căderile de presiune laterale, care au fost obținute pe baza principiului de continuitate pentru volumul elementar, căderea de presiune axială se obține pe baza principiului de conservare a masei pentru secțiune.

În final, se reprezintă discretizarea termenilor de convecție din ecuația de mișcare în direcția curgerii. Fără a intra în amănunte, se consideră un profil implicit de variație, ceea ce înseamnă că valoarea variabilei ϕ este constantă pe întregul domeniu Δz , exceptând secțiunea din z_U (figura 2.2.2). Cu aceasta se poate scrie:

$$w \frac{\partial}{\partial z} (\rho \phi) = F_D \phi_P - F_U \phi_U \quad (2.2.32)$$

unde

$$F_D = \frac{\Delta x \Delta y}{\Delta z} (\rho w)_{P,D} \quad (2.2.33a)$$

$$F_U = \frac{\Delta x \Delta y}{\Delta z} (\rho w)_{P,U} \quad (2.2.33b)$$

Cu aceasta din urmă, analiza numerică a curgerii în stratul limită tridimensional este completă.

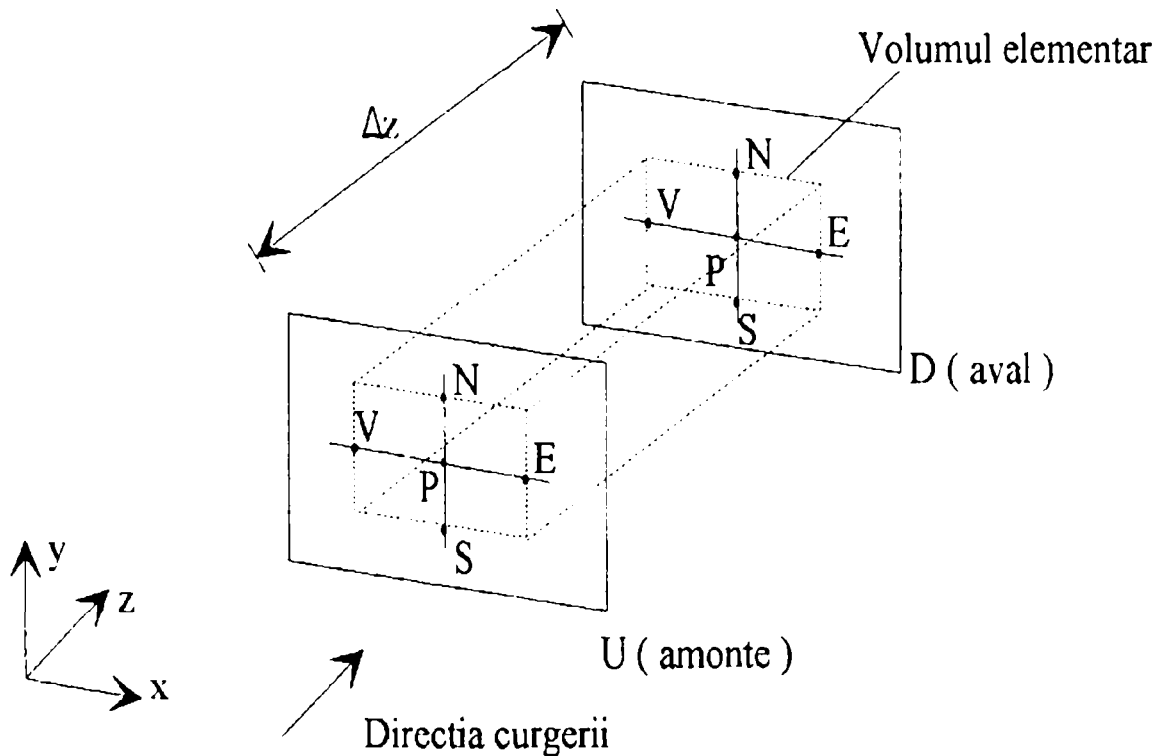


Fig. 2.2.2. Volumul elementar în direcția axială

Model nou pentru tratarea gradientului de presiune axial

Similar cu revizuirea algoritmului SIMPLE și obținerea modelului SIMPLER, procedeul descris în capitolul 2.2.7 și 2.2.8, împreună cu modelul pentru obținerea gradientului de presiune axial descris în subcapitolul anterior se pot îmbunătăți.

Omiterea termenului, care aduce la majorarea numărului de iterații, se poate evita aplicând următorul model, și anume:

Relația 2.2.27 poate fi scrisă astfel:

$$a_{i,j} w_{i,j} = b_{i,j} w_{i+1,j} + c_{i,j} w_{i-1,j} + d_{i,j} + e_{i,j} \left(\frac{dp}{dz} \right) \quad (2.2.34)$$

unde:

$$d_{i,j} = a_E w_E + a_W w_W + b \quad (2.2.35)$$

Similar cu transformările din subcapitolul 2.2.1, relația 2.2.34 după prima transformare devine:

$$w_{i,j} = P_{i,j} w_{i+1,j} + Q_{i,j} + R_{i,j} \left(\frac{dp}{dz} \right) \quad (2.2.36)$$

unde relațiile recurente pentru P, Q și R sunt după cum urmează:

$$P_{i,j} = \frac{b_{i,j}}{a_{i,j} - c_{i,j}P_{i-1,j}} \quad (2.2.37a)$$

$$Q_{i,j} = \frac{d_{i,j} + c_{i,j}Q_{i-1,j}}{a_{i,j} - c_{i,j}P_{i-1,j}} \quad (2.2.37b)$$

$$R_{i,j} = \frac{e_{i,j} + c_{i,j}R_{i-1,j}}{a_{i,j} - c_{i,j}P_{i-1,j}} \quad (2.2.37c)$$

Valorile inițiale pentru începerea procesului de substituții se prezintă astfel:

$$P_{1,j} = \frac{b_{1,j}}{a_{1,j}}; \quad Q_{1,j} = \frac{d_{1,j}}{a_{1,j}}; \quad R_{1,j} = \frac{e_{1,j}}{a_{1,j}} \quad (2.2.38)$$

Având în vedere că la capătul procesului de substituții $b_N = 0$, iar $P_N = 0$, se obține a doua transformare, și anume:

$$w_{i,j} = A_{i,j} + B_{i,j} \left(\frac{dp}{dz} \right) \quad (2.2.39)$$

Procesul invers de substituiri se începe cu valorile $A_N = Q_N$ și $B_N = R_N$, și continuăm cu următoarele relații recurente:

$$A_{i,j} = Q_{i,j} + P_{i,j}A_{i+1,j} \quad (2.2.40a)$$

$$B_{i,j} = R_{i,j} + P_{i,j}B_{i+1,j} \quad (2.2.40b)$$

Înmulțind relația 2.2.39 cu $\Delta x \Delta y$ și prin însumarea termenilor în direcția x și y se obține:

$$\sum_{i=1, j=1}^{N, K} \Delta x \Delta y w_{i,j} = \sum_{i=1, j=1}^{N, K} \Delta x \Delta y A_{i,j} + \sum_{i=1, j=1}^{N, K} \Delta x \Delta y B_{i,j} \left(\frac{dp}{dz} \right) \quad (2.2.41)$$

Având în vedere că debitul fluidului în regim staționar este constant pe secțiune, și anume:

$$m = \sum_{i=1, j=1}^{N,K} \Delta x \Delta y w_{i,j} = const \quad (2.2.42)$$

Prin urmare rezultă căderea de presiune axială:

$$\left(\frac{d\bar{p}}{dz} \right) = \frac{\sum_{i=1, j=1}^{N,K} \Delta x \Delta y A_{i,j} + \sum_{i=1, j=1}^{N,K} \Delta x \Delta y B_{i,j} \left(\frac{d\bar{p}}{dz} \right)}{m} \quad (2.2.43)$$

Algoritmul acestui model se prezintă astfel:

1. Calculul coeficienților a, b, c, d și e din ecuația de transport 2.2.27;
2. Calculul valorilor inițiale ale coeficienților P, Q, R pe baza relațiilor 2.2.38;
3. Calculul coeficienților A și B cu relațiile 2.2.40;
4. Calculul gradientului de presiune axial cu relația 2.2.43;
5. Calculul câmpului de viteze axiale cu relația 2.2.39.

Prin urmare s-a obținut un model direct pentru obținerea atât a gradientului axial de presiune cât și a câmpului de viteze axial. Prin luarea în considerare a ecuației 2.2.27 în ansamblu, se evită introducerea erorii în procesul iterativ, și prin urmare se obține micșorarea numărului de iterații. Cu toate că, aplicând acest model se introduce încă o traversare în procesul de substituiri, avantajul pe care îl oferă prin reducerea iterațiilor îl recomandă pentru utilizare.

2.1.5. DESCRIEREA MODELULUI NUMERIC PENTRU CERCETAREA INTENSIFICĂRII SCHIMBULUI DE CĂLDURĂ LA CURGEREA PRIN TUBURI CU GENERATOARE DE TURBULENȚĂ

INTRODUCERE

Regimul hidraulic stabilizat al convenției formate prin tuburi, în regim laminar și cu proprietățile fluidului constante, este definit prin forma profilului de viteze, care rămâne neschimbată până la ieșirea din tub. În schimb, regimul termic stabilizat este obținut în momentul în care coeficientul de convenție atinge o valoare care rămâne neschimbată în restul curgerii.

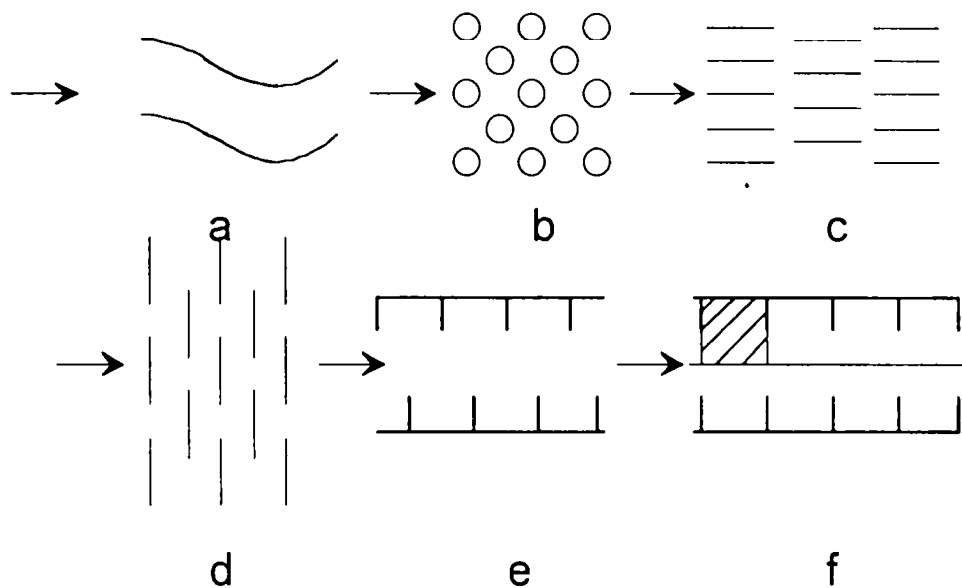


Fig. 2.3.1. Exemplu de curgere în regim stabilizat periodic

În cazul curgerii prin secțiuni de curgere cu o geometrie care se repetă într-o anumită ordine după o porțiune de intrare, profilul de viteze, respectiv de temperaturi, obține aceeași variație în fiecare dintre secțiunile caracteristice. Regimul de curgere obținut este un regim stabilizat periodic. Prin urmare, exceptând porțiunea de intrare (cercetările ne arată că aceasta este acoperită prin 3-4 secțiuni caracteristice) se poate urmări numai o astfel de secțiune pentru a obține performanțele termice și hidrodinamice pentru spațiul cercetat în ansamblu. În fig. 2.3.1. s-au prezentat câteva exemple pentru o astfel de curgere.

În lucrarea [14] (fig.2.3. la) s-a analizat curgerea aerului prin canale ondulate și schimbul de căldură, folosite la schimbătoare de căldură compacte. S-au variat două mărimi geometrice, precum și numărul $100 < Re < 1000$. Această problemă a fost studiată și în lucrările [15, 16, 17, 18, 19, 20].

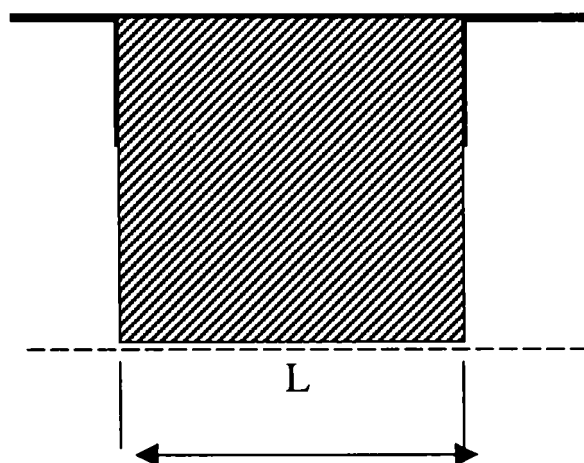


Fig. 2.3.2. Secțiunea caracteristică

Rao N. ș. a. m. d. [21] (fig. 2.3.1.b) tratează curgerea aerului peste un fascicol de țevi nevurate la exterior cu nervuri circumferențiale, și transferul termic, problemă tratată și în [22, 23, 24, 25, 26]. Pentru o geometrie constantă a țevilor s-a variat $100 < R_e < 1000$.

Patankar S.V. ș. a. m. d. [27] (fig. 2.3.1.d) cercetează convenția formată peste nervuri plane întrerupte în direcția curgerii. Nervurile au în cazul acesta o grosime finită și s-a analizat influența acestora asupra performanțelor termice și hidrodinamice pentru $100 < R_e < 2000$. Acest tip de curgere a fost analizat și în lucrările [29, 30, 31].

Roweley G.J. ș. a. m. d. [32] (fig. 2.3.1f) cercetează o curgere forțată prin tuburi cu nervuri interioare circumferențiale. S-a urmărit influența pasului și a înălțimii nervurilor asupra performanțelor termice și hidrodinamice într-un regim laminar de curgere $100 < R_e < 1000$.

Weebb B.W. ș. a. m. d. [33]. (fig. 2.3.1e) prezintă un studiu asupra curgerii forțate și schimbul de căldură prin canale cu nervuri dispuse în eșichier. Se analizează influența pasului, înălțimii și a grosimii nervurii, precum și a naturii fluidului asupra performanțelor termice și hidrodinamice într-un regim de curgere laminar.

CÂMPUL DE VITEZE

În continuare, pentru a descrie un astfel de regim, se va lua în considerare exemplul curgerii printr-un canal cu nervuri numai pe o suprafață a acestuia (fig.2.3.2.). Dacă admitem două limite Y_1 și Y_2 și anume $Y_1 < y < Y_2$ pentru un canal cu o secțiune care variază periodic, putem scrie:

$$Y_1(x) = Y_1(x+L) = Y_1(x+2L) = \dots = Y_1(x+nL) \quad (2.3.1)$$

$$Y_2(x) = Y_2(x+L) = Y_2(x+2L) = \dots = Y_2(x+nL) \quad (2.3.2)$$

La o distanță suficient de mare de la intrarea în tub, câmpul de viteză obține o comportare periodică, adică se repetă periodic într-o succesiune de secțiuni care sunt la o distanță L una față de alta și anume:

$$u(x,y) = u(x+L,y) = u(x+2L,y) = \dots = u(x+nL,y) \quad (2.3.3)$$

$$v(x,y) = v(x+L,y) = v(x+2L,y) = \dots = v(x+nL,y) \quad (2.3.4)$$

Concluzia esențială care rezultă din relațiile (2.3.3) și (2.3.4) este că, indiferent de faptul că vitezele variază pe întreaga lungime a tubului, este suficient să analizăm numai câmpul de viteze într-o secțiune caracteristică. Mai departe putem cerceta o astfel de scurgere, fără a lua în considerare porțiunea de intrare.

Un alt câmp care necesită atenție este câmpul de presiuni. Considerând secțiunile de la o distanță $x, x+L, x+2L, \dots, x+nL$, alura curbei de variație a presiunii $p(x,y) = f(y)$, în secțiunile respective este aceeași. Unica diferență constă în dispunerea acestora, una față de alta, la o aceeași distanță. Prin urmare se poate scrie:

$$p(x,y) - p(x+L,y) = p(x+L,y) - p(x+2L,y) = \dots \quad (2.3.5)$$

Sau, raportat la lungimea canalului:

$$\frac{p(x,y) - p(x+L,y)}{L} = \beta \quad (2.3.6)$$

Prin divizarea câmpului de presiune în două componente obținem:

$$p(x,y) = \beta x + P(x,y) \quad (2.3.7)$$

Termenul βx reprezintă gradientul de presiune axial, iar $P(x,y)$ este o variație locală a presiunii. Această variație se repetă periodic în fiecare din secțiunile caracteristice, și anume:

$$P(x,y) = P(x+L,y) = P(x+2L,y) = \dots \quad (2.3.8)$$

Prin divizarea câmpului de presiune în două componente se obțin:

$$P(x,y) = \beta x + P(x,y) \quad (2.3.9)$$

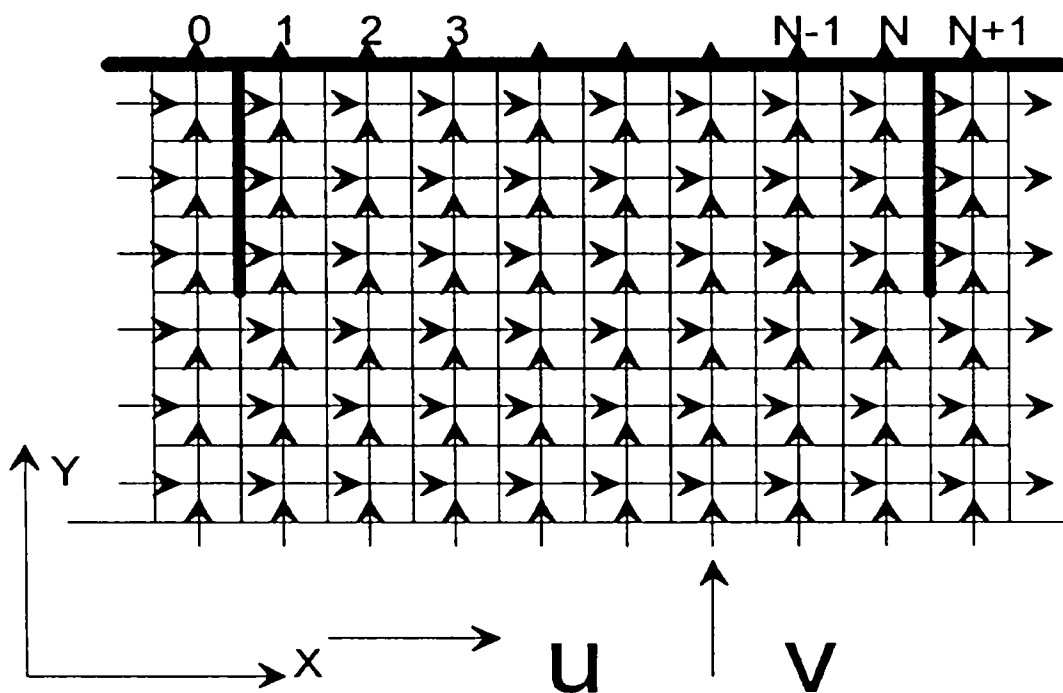


Fig. 2.3.3. Grila pentru canal cu nervuri interioare circumferențiale

Termenul βx reprezintă gradientul de presiune axial, iar $P(x,y)$ este o variație locală a presiunii. Această variație se repetă periodic în fiecare dintre secțiunile caracteristice, și anume:

$$P(x,y)=P(x+L,y)=P(x+2L,y)=\dots \quad (2.3.10)$$

Conform prezentării anterioare, ecuația de continuitate, respectiv ecuațiile de mișcare a fluidelor vâscoase devin:

$$\rho \left[u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} \right] = \beta - \frac{\partial p}{\partial x} + \mu \left[\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right] \quad (2.3.11)$$

$$\rho \left[u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} \right] = -\frac{\partial p}{\partial y} + \mu \left[\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right] \quad (2.3.12)$$

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0 \quad (2.3.13)$$

CÂMPUL DE TEMPERATURI

Regimul dezvoltat periodic din punct de vedere termic, pentru o condiție limită termică care se repetă modular, se poate urmări prin câmpul de temperaturi într-o succesiune de secțiuni $x, x+L, x+2L, \dots$. Profilurile variațiilor de temperaturi sunt aceleași și dispuse unul față de altul la o aceeași distanță. Prin urmare rezultă:

$$T(x+L,y)-(T_x,y)=T(x+2L,y)-T(x+L,y)=\dots \quad (2.3.14)$$

Având în vedere relația de mai sus se poate scrie:

$$\frac{T(x+L,y)-T(x,y)}{L} = \gamma \quad (2.3.15)$$

Iar pe de altă parte:

$$\gamma = \frac{Q}{mc_p L} \quad (2.3.16)$$

unde Q este fluxul termic transmis fluidului într-o secțiune caracteristică de lungime L . Prin urmare, câmpul de temperaturi poate fi descompus în două componente, și anume:

$$T(x,y)=\gamma x+T'(x,y)$$

(2.3.17)

Mai departe T' se repetă periodic:

$$T'(x,y)=T'(x+L,y)=T'(x+2L,y)=\dots$$

(2.3.18)

Prin urmare, ecuația de conservare a energiei termice devine:

$$\rho c_p \left[u \frac{\partial T'}{\partial x} + v \frac{\partial T'}{\partial y} \right] = -\rho c_p \mu \gamma + \lambda \left[\frac{\partial^2 T'}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T'}{\partial y^2} \right] \quad (2.3.19)$$

Dacă q este densitatea fluxului termic local, condiția limită termică devine:

$$\frac{\partial T}{\partial n} = \gamma \frac{\partial x}{\partial n} + \frac{\partial T'}{\partial n} = -\frac{q}{k} \quad (2.3.20)$$

unde n este vector perpendicular pe suprafața canalului, iar în cazul suprafețelor de simetrie:

$$\frac{\partial T}{\partial n} = \gamma \frac{\partial x}{\partial n} + \frac{\partial T'}{\partial n} = 0 \quad (2.3.21)$$

Ecuția (2.3.19) cu condițiile limită termice (2.3.20) și (2.3.21) reprezintă, din punct de vedere matematic o problemă definită.

ALGORIMUL DE SOLUȚIONARE A ECUAȚIILOR FUNDAMENTALE ÎN REGIM PERIODIC

Euațiile (2.3.11) – (2.3.13) reprezintă un sistem de ecuații “cuplat”, cu mărimi necunoscute $u(x,y)$, $v(x,y)$ și $p(x,y)$. Mărimea b poate fi aleasă în mod arbitrar, și anume pentru o anumită valoare a acesteia rezultă un anumit debit sau R_e . Pe cele două granițe ale domeniului de soluționare, în amonte și respectiv în aval, condiția de periodicitate este:

$$\phi(x^+,y)=\phi(x^++L,y), \phi=u,v,P,T' \quad (2.3.22)$$

Prin aceasta din urmă separăm domeniul de soluționare, pe de o parte, de restul domeniului de curgere, iar pe de altă parte, de porțiunea de intrare. Pentru cazul curgerii prin tuburi, condițiile limită sunt după cum urmează:

- pentru suprafețe solide

$$u=v=0$$

$$(2.3.23a)$$

- pentru suprafețe de simetrie

$$\frac{\partial u}{\partial y} = 0, v = 0$$

$$(2.3.23b)$$

Întrucât nu se cunosc în mod explicit condițiile limită la intrare, respectiv ieșire din domeniul de soluționare, asupra sistemului de ecuații (2.3.11) – (2.3.13), împreună cu condiția limită (2.3.22) nu se poate aplica metoda de soluționare “TDMA obișnuit”. Pentru a rezolva această problemă, metoda de soluționare TDMA, trebuie revizuită (fig. 2.3.4).

În primul rând, construim o grilă pe domeniul de soluționare, cu $i=1, N$ și $j=1, K$ în direcțiile x respectiv y . Pentru secțiunea de intrare, respectiv ieșire din domeniu avem:

$$\phi_{0,j} = \phi_{N-1,j}; \phi_{1,j} = \phi_{N,j}; \phi_{2,j} = \phi_{N+1,j} \quad (2.3.24)$$

pentru $\phi = u, v, p, T$

Se observă că ecuațiile algebrice pentru linia $i=1$ sunt identice cu cele pentru linia $i=N$.

Prin urmare, domeniul de soluționare acoperă secțiunea dintre liniile $i=1$ și $i=N-1$. Mai departe ecuațiile pentru $i=1$ conțin termeni $\phi_{N-1,j}$ iar cei pentru $i=N-1$ termeni $\phi_{1,j}$. Rezultă că numărul mărimilor necunoscute va fi egal cu numărul ecuațiilor.

Algoritmul care rezolvă un astfel de sistem de ecuații se numește TDMA – circular și se poate găsi și în literatura de specialitate [34]. În continuare va fi prezentată această metodă.

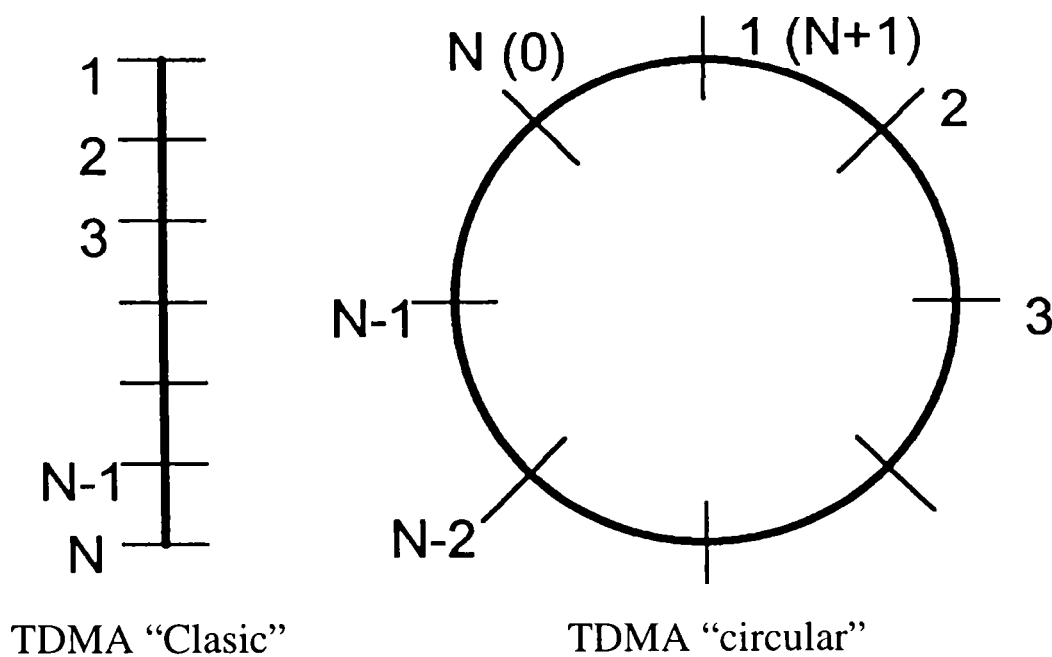


Fig.2.3.4. modelul TDMA pentru rezolvarea ecuațiilor algebrice

Având în vedere că fiecare ecuație din nodul i,j conține termeni $\phi_{i-1,j}$ și $\phi_{i+1,j}$, ideea principală a metodei TDMA constă în parcurgerea domeniului de la un capăt la altul. Deci ϕ_{ij} se poate exprima în funcție de $\phi_{i+1,j}$, iar în nodul N $\phi_{Nj}=Q_{Nj}$ (unde Q_{nj} este o constantă). Prin traversarea în sens opus obținem valorile lui ϕ_{ij} în nodurile $i=N-1, N-2, \dots, 2, 1$.

În cazul curgerii periodice, la intrarea respectiv ieșirea din domeniul respectiv ($i=1$ respectiv $i=N$), sunt valabile condițiile de periodicitate (2.3.22). Deci, traversând de la $i=1$ la $i=N$, în acesta din urmă obținem $\phi_{0(N)j}=\phi_{1(n+1)j}$. Traversând în sens opus de la $i=N$ la $i=1$ în aceasta din urmă obținem $\phi_{ij}=f(B1,A1)$ ($A1,B1=const$). În ultima trecere $i=2, N$ obținem valorile lui ϕ în fiecare dintre nodurile. Față de TDMA-ul obișnuit unde avem două traversări, aici este necesară încă una.

Ecuatia algebrică obținută în urma discretizării este:

$$a_i\phi_i=c_i\phi_{i-1}+b_i\phi_{i+1}+d_i \quad (2.3.25)$$

Prin divizare cu a_i se obține:

$$\phi_i=R_i\phi_0+P_i\phi_{i+1}+Q_i \quad (2.3.26)$$

iar pentru $i-1$ rezultă:

$$\phi_{i-1}=R_{i-1}\phi_0+P_{i-1}\phi_i+Q_{i-1} \quad (2.3.27)$$

Înlocuind relația (2.3.27) în relația (2.3.25) se obține:

$$a_i\phi_i=c_i(R_{i-1}\phi_0+P_{i-1}\phi_i+Q_{i-1})+b_i\phi_{i+1}+d_i \quad (2.3.28)$$

Prin transformări se obține:

$$(a_i-c_iP_{i-1})\phi_i=c_i R_{i-1}\phi_0+ b_i\phi_{i+1}+ c_i Q_{i-1}+d_i \quad (2.3.29)$$

Adică în formă finală:

$$\frac{c_i R_{i-1}}{a_i - c_i P_{i-1}} \phi_0 + \frac{b_i}{a_i - c_i P_{i-1}} \phi_{i+1} + \frac{c_i Q_{i-1} + d_i}{a_i - c_i P_{i-1}} = \phi_i \quad (2.3.30)$$

Prin similitudinea cu relația (2.3.26) rezultă:

$$R_i = \frac{c_i R_{i-1}}{a_i - c_i P_{i-1}}; P_i = \frac{b_i}{a_i - c_i P_{i-1}}; Q_i = \frac{c_i Q_{i-1} + d_i}{a_i - c_i P_{i-1}} \quad (2.3.31)$$

Inițierea coeficienților se face prin:

$$R_1 = \frac{c_1}{a_1}; P_1 = \frac{b_1}{a_1}; Q_1 = \frac{d_1}{a_1} \quad (2.3.32)$$

În nodul N obținem o relație în forma următoare:

$$\phi_{0(N)} = A_{0(N)} \cdot \phi_1 + B_{0(N)} \quad (2.3.33)$$

Unde :

$$A_N = \frac{b_N}{a_N - c_N(P_{N-1} + R_{N-1})} \quad (2.3.34)$$

$$B_N = \frac{c_N Q_{N-1} + d_N}{a_N - c_N(P_{N-1} + R_{N-1})} \quad (2.3.35)$$

Înlocuind (2.3.34.) și (2.3.35) în (2.3.27.) rezultă:

$$\phi_{i-1} = R_{i-1}(A_0 \phi + B_0) + P_{i-1}(A_1 \phi + B_1) + Q_{i-1} \quad (2.3.36)$$

Prin gruparea termenilor se obține:

$$\phi_{i-1} = (R_{i-1}A_0 + P_{i-1}A_1)\phi + (R_{i-1}B_0 + P_{i-1}B_1 + Q_{i-1}) \quad (2.3.37a)$$

sau în nodul următor:

$$\phi_i = (R_iA_0 + P_iA_{i+1})\phi + (R_iB_0 + P_iB_{i+1} + Q_i) \quad (2.3.37b)$$

Comparând relația (2.3.37a) cu (2.3.37b) rezultă:

$$A_i = R_iA_0 + P_iA_{i+1} \quad (2.3.38a)$$

$$B_i = R_i B_0 + P_i B_{i+1} + Q_i \quad (2.3.38b)$$

Prin înlocuiri succesive de la $i=N-1, \dots, 1$ în nodul $i=1$ se obține:

$$\Phi_i = \frac{B_1}{1 - A_1} \quad (2.3.39)$$

În ultima traversare pentru $i=2$, folosim relația:

$$\Phi_i = A_i \Phi_1 + B_i \quad (2.3.40)$$

CAPITOLUL 3

MODELAREA TRANSFERULUI DE CĂLDURĂ ÎN REGIM LAMINAR SI TURBULENT DE CURGERE PENTRU TUBUL FIELD LIS ȘI CU NERVURI

3.1 ELEMENTE PRIVIND PROGRAMAREA PE ORDINATOR A PROCESELOR TERMOGAZODINAMICE CARACTERISTICE REGIMURILOR LAMINARE

În continuare se vor prezenta rezultatele obținute în urma rulării programelor de calcul pentru curgerea laminară prin tuburi. Prezumțiile care s-au adoptat pentru aceste cazuri cercetate sunt după cum urmează:

- regimul de curgere laminar și staționar;
- fluidul se consideră incompresibil;
- proprietățile fluidului sunt constante;
- se neglijează lucrul mecanic disipativ;

De asemenea se iau în considerare și toate prezumpțiile legate de curgerea în stratul limită tridimensional, prezentate în capitolul anterior. Programele de calcul s-au întocmit pentru curgerea prin tub simplu, tub inelar.

3.1.1 TUB SIMPLU

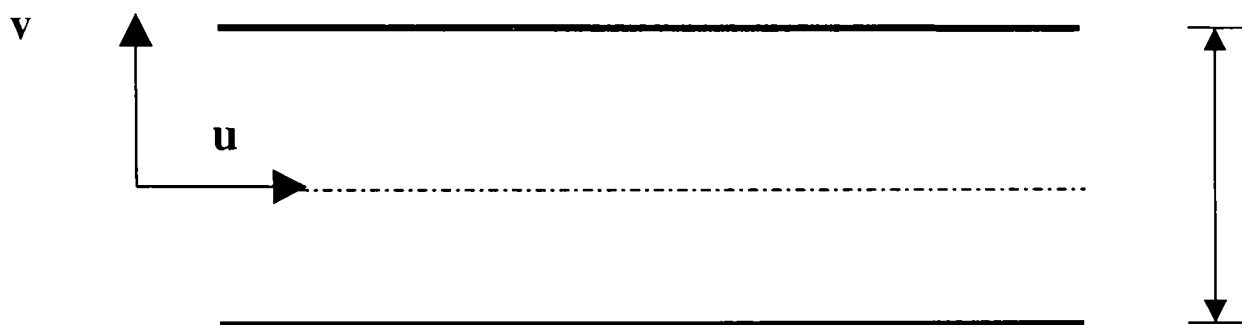


Fig. 3.1. Tub simplu

Ecuatiile fundamentale care descriu acest tip de curgere sunt după cum urmează:

- Ecuatia de continuitate:

$$\frac{\partial u}{\partial r} + \frac{1}{r} \frac{\partial(rv)}{\partial r} = 0 \quad (3.1.1)$$

- Ecuatia de mișcare a fluidelor vâscoase:

$$\rho \left(v \frac{\partial u}{\partial r} + u \frac{\partial u}{\partial z^*} \right) = -\frac{dp}{dz} + \eta \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial u}{\partial r} \right) \quad (3.1.2)$$

- Ecuatia de conservare a energiei termice:

$$\rho c_p \left(v \frac{\partial t}{\partial r} + u \frac{\partial t}{\partial z^*} \right) = \lambda \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial t}{\partial r} \right) \quad (3.1.3)$$

Prin introducerea mărimilor adimensionale:

- mărimile geometrice:

$$R = \frac{r}{D}; z^* = \frac{z}{DRe}; z^+ = \frac{z}{DRePr} \quad (3.1.4)$$

- mărimile legate de câmpul de viteze:

$$V = \frac{vD}{\nu}; U = \frac{u}{u_0}; P = \frac{p}{\rho u_0^2} \quad (3.1.5)$$

- mărimile legate de câmpul de temperaturi:

$$\theta_{H1} = \frac{t-t_i}{q/\lambda}; \theta_T = \frac{t-t_i}{t_p-t_i} \quad (3.1.6)$$

ecuatiile 3.1.1. – 3.1.3. devin:

- ecuația de continuitate:

$$\frac{\partial U}{\partial R} + \frac{1}{R} \frac{\partial(RV)}{\partial R} = 0 \quad (3.1.7)$$

- ecuația de mișcare a fluidelor vâscoase:

$$V \frac{\partial U}{\partial R} + U \frac{\partial U}{\partial Z^*} = -\frac{dP}{dZ^*} + \frac{1}{R} \frac{\partial}{\partial R} \left(R \frac{\partial U}{\partial R} \right) \quad (3.1.8)$$

- ecuația de conservare a energiei termice:

$$V \frac{\partial \theta}{\partial R} + U \frac{\partial \theta}{\partial Z^*} = \frac{1}{Pr} \frac{1}{R} \frac{\partial}{\partial R} \left(R \frac{\partial \theta}{\partial R} \right) \quad (3.1.9)$$

Condițiile limită care însoțesc aceste ecuații fundamentale sunt după cum urmează:

- pe suprafețele solide:

$$U=V=0 \quad (0 < Z^* < Z_e^*, R=0,5)$$

$$\theta_T=1; \theta_{H1}=t_w \quad (0 < Z^* < Z_e^*, R=0,5)$$

- pe axa tubului:

$$V=0; \frac{\partial U}{\partial R} = \frac{\partial \theta}{\partial R} = 0$$

- la intrarea în tub:

$$U=1; V=0 \quad (Z^*=0, 0 < R < 0,5)$$

$$\theta_T=1; \theta_{H1}=t_w \quad (0 < Z^* < Z_e^*, R=0,5, \text{ iar } q \text{ din ecuația 3.1.6. reprezintă fluxul de căldură transmis fluidului prin perete; valoarea acestuia este constantă de-a lungul tubului, iar temperatura are o valoare constantă circumferențial și variază în direcția curgerii).}$$

Analizând sus amintitele condiții limită împreună cu ecuațiile (3.1.7. – 3.1.9.) rezultă că acest tip de curgere și transfer termic este simetric față de axa tubului, astfel încât este suficient să urmărim numai o jumătate din secțiunea tubului ($0 < R < 1$).

DETALII DE PROGRAMARE

Ecuțiile 3.1.7 – 3.1.9 au fost discretizate conform modelului *power-law*, iar ecuațiile algebrice rezultate în urma discretizării au fost soluționate prin metoda *linie după linie*. Ca urmare a simplificării geometrice prin care urmărim numai o secțiune longitudinală a tubului, problema se rezumă la o succesiune de secțiuni unidimensionale. Prin urmare, câmpul de viteze laterale se obține prin ecuația de continuitate. De aceea, cunoașterea câmpului de presiune pe secțiune nu mai este indispensabilă.

În urma încercărilor efectuate pentru mai multe grile, s-a decis folosirea rețelei de 600 de noduri în direcția radială, precum și folosirea coeficientului de expansiune

$m = 1,5$. Rularea programului a fost organizată astfel încât în momentul în care se obține câmpul de viteze stabilizat, cu acest câmp să se continue calculul pentru obținerea câmpului de temperaturi stabilizat.

Prin rularea acestui program s-a obținut fișierul `tbulk.dat`, corespunzător unui tub simplu.

3.1.2 TUB INELAR

DESCRIEREA MATEMATICĂ A FENOMENULUI

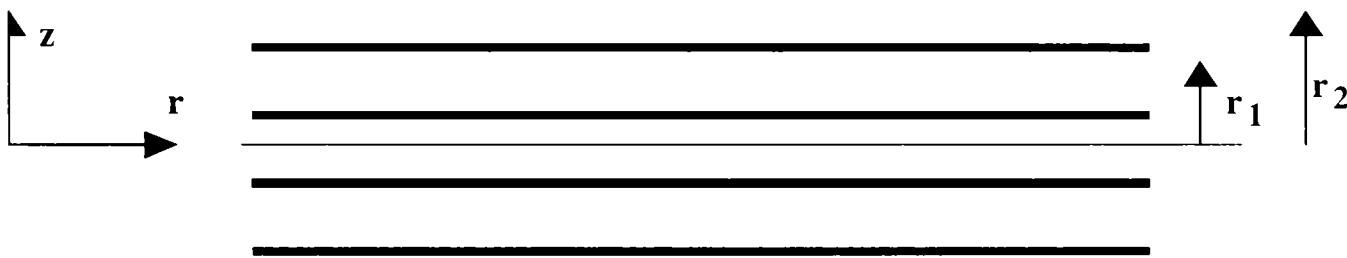


Fig. 3.2 Tub inelar

Ecuțiile fundamentale în forma adimensională, care descriu acest tip de curgere sunt cele prezentate în capitolul anterior (ec. 2.1.1 - 2.1.3), iar mărimile adimensionale care intervin în aceste ecuații sunt diferite față de cele prezentate anterior, și anume:

$$R = \frac{r}{r_2}; Z^* = \frac{z}{r_2 \cdot Re}; Z^+ = \frac{z}{r_2 \cdot Re \cdot Pr}; V = \frac{v \cdot r_2}{\nu} \quad (3.1.10)$$

iar condițiile limită termice care însoțesc aceste ecuații sunt după cum urmează:

- *Pe suprafețele solide*

$$U = V = 0 \quad (0 < Z^* < Z_e^*, R = r_1 / r_2 \text{ și } R = 1)$$

$$\theta_T = 1; \theta_{H1} = t_w \quad (0 < Z^+ < Z_e^+, R = r_1 / r_2)$$

$\frac{\partial \theta}{\partial R} = 0$ ($0 < Z^+ < Z_e^+$, $R = 1$), suprafața tubului exterior este izolată.

- la intrarea în tub:

$U=1$; $V=0$ ($Z^*=0$, $r_1 / r_2 \leq R \leq 1$)

$\theta_T = \theta_{H1} = 0$ ($Z^*=0$, $r_1 / r_2 \leq R \leq 1$)

La fel ca și în cazul curgerii printr-un tub simplu și aici este suficient să urmărim numai o jumătate din secțiunea tubului ($r_1 / r_2 \leq R \leq 1$).

DETALII DE PROGRAMARE

Similar ca și în cazul curgerii printr-un tub simplu, ecuațiile algebrice rezultate 3.1.7 - 3.1.9 au fost discretizate pe baza modelului de discretizare *power-law*, iar ecuațiile algebrice rezultate în urma discretizării au fost soluționate prin metoda *linie după linie*. Ca urmare a simplificării geometrice prin care urmărim numai o secțiune longitudinală a tubului, problema se rezumă la o succesiune de secțiuni unidimensionale. Prin urmare, câmpul de viteze laterale se obține prin ecuația de continuitate. De aceea, cunoașterea câmpului de presiune pe secțiune nu mai este indispensabilă.

$$\Delta z_{j+1} = 1,1 \cdot \Delta z_j \quad (3.1.11)$$

Rularea programului a fost organizată astfel încât să se obțină câmpul de viteze stabilizat, cu acest câmp din urmă se continuă calculul pentru obținerea câmpului de temperaturi stabilizat. În privința criteriilor de convergență acestea sunt după cum urmează:

$$| a_b \phi_p - \sum a_{nb} \theta_{nb} + b | < 10^{-6}, \text{ pt. } \phi = U, \theta \quad (3.1.12)$$

Prin rularea acestui program s-a obținut fișierul *tbulk.dat* (anexă), corespunzător tubului inelar.

3.2 MODELAREA TERMOGAZODINAMICII TUBURILOR DE TIP BAYONET LISE ÎN REGIM LAMINAR

Pentru a se modela un tub tip Bayonet s-a considerat că el este format, în sensul parcurs de fluid, din două tronsoane, unul simplu și unul inelar. Astfel, cunoscându-se temperatura de intrare și fluxul termic transmis se parcurge următorul algoritm:

Pentru un tub Field se cunoaște debitul m_2 , fluxul termic \dot{Q}_2 și temperatura de intrare t_2' .

Se determină: Fluxul termic raportat la lungimea tubului $\dot{Q}_1 = \frac{\dot{Q}_2}{l}$

Viteza în tub: $w_2 = \frac{m_2}{\rho S}$, unde $S = \frac{\pi d_1^2}{4}$

Criteriul Reynolds este:

$$Re = \frac{w R}{\nu} \quad R\text{-reprezintă lungimea caracteristică}$$

Se calculează $\frac{l}{R \cdot Re \cdot Pr} = x$ Pr -reprezintă numărul Prandtl

Pentru valoarea x astfel obținută se caută corespondentul θ din fișierul tbulk.dat (tub).

$$\theta_{med} = \frac{\theta}{4}$$

$$\theta_{med} = \frac{t - t_i}{\frac{\dot{Q}_1}{\lambda}} \quad \text{unde } \lambda \text{ - conductivitatea termică a aerului}$$

$$t_1 - t_i = \frac{\dot{Q}_1}{\lambda} \cdot \theta_{med} \Rightarrow t_1; t_1 \text{ devine temperatura de intrare pentru tubul inelar}$$

Analog se calculează t_2 pentru tubul inelar:

$$w = \frac{m_2}{\rho S_{in}} \quad \text{unde } S_{in} = \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2)$$

$$Re = \frac{w R_2}{\nu}$$

$$\frac{l}{R_2 \cdot Re \cdot Pr} = y$$

din fișierul tbulk.dat (inel) se caută pentru valoarea lui y corespondentul θ .

$$\theta_{med} = \theta \cdot 4$$

$$\theta_{med} = \frac{t - t_i}{\frac{\dot{Q}_1}{\lambda}}$$

$$t_2 - t_i = \frac{\dot{Q}_1}{\lambda} \cdot \theta_{med} \Rightarrow t_2 - t_i$$

3.3. MODELAREA TERMOGAZODINAMICII TUBURILOR DE TIP BAYONET LISE ȘI NERVURATE ÎN REGIM TURBULENT

Pentru a modela transferul de căldură în regim turbulent se folosește un program specializat Phoenics.

Pentru modelarea tubului Field în regim turbulent, se folosește opțiunea de domeniu de modelare, considerându-se numai jumătate din tubul de studiat, rezultând

fișierul domlis.bmp (anexa D1) pentru tubul Field lis și domnerv.bmp (anexa D2) pentru tubul Field nervurat.

Se utilizează fișierele vitlis.bmp (anexele D6 și D7) pentru tubul Field lis și vitnerv.bmp (anexa D8) pentru tubul Field cu nervuri pentru modelarea câmpului de viteze. În final se modelează gradientul de temperatură cu ajutorul fișierelor tplis.bmp (anexele D3 și D4) pentru tubul Field lis și tpnerv.bmp pentru tubul Field cu nervuri (anexa D5).

3.3.1. SOLUȚIONAREA ECUAȚIILOR CURGERII TURBULENTE

Ecuțiile care descriu acest model de turbulență împreună cu ecuațiile diferențiale, sunt soluționate prin modelul $k - \varepsilon$ [www.cham.co.uk] în felul următor:

- Ecuația de mișcare a fluidelor vâscoase:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \rho \Phi}{\partial t} + \frac{\partial(\rho U \Phi)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho V \Phi)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho W \Phi)}{\partial z} = \\ = \frac{\partial}{\partial x} \frac{\mu_t}{Pr_m} \frac{\partial \Phi}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \frac{\mu_t}{Pr_m} \frac{\partial \Phi}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial x} \frac{\mu_t}{Pr_m} \frac{\partial \Phi}{\partial z} + S \Phi \end{aligned} \quad (3.3.1.1)$$

- ecuația de continuitate:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho U)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho V)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho W)}{\partial z} = 0 \quad (3.3.1.2)$$

- ecuațiile Navier-Stokes:

- în direcția x:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \rho U}{\partial t} + \frac{\partial(\rho U U)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho V U)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho W U)}{\partial z} = \\ - \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \mu_e \frac{\partial U}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} \mu_e \frac{\partial U}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial z} \mu_e \frac{\partial U}{\partial z} + \\ + \frac{\partial}{\partial x} \mu_e \frac{\partial U}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} \mu_e \frac{\partial V}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial z} \mu_e \frac{\partial W}{\partial x} - \frac{\partial}{\partial x} \frac{2}{3} \rho k \end{aligned} \quad (3.3.1.3)$$

- în direcția y:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \rho V}{\partial t} + \frac{\partial(\rho U V)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho V V)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho W V)}{\partial z} = \\ - \frac{\partial p}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial x} \mu_e \frac{\partial V}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} \mu_e \frac{\partial V}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial z} \mu_e \frac{\partial V}{\partial z} + \\ + \frac{\partial}{\partial x} \mu_e \frac{\partial U}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial y} \mu_e \frac{\partial V}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial z} \mu_e \frac{\partial W}{\partial y} - \frac{\partial}{\partial y} \frac{2}{3} \rho k \end{aligned} \quad (3.3.1.4)$$

- în direcția z:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \rho W}{\partial t} + \frac{\partial(\rho U W)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho V W)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho W W)}{\partial z} = \\ - \frac{\partial p}{\partial z} + \frac{\partial}{\partial x} \mu_e \frac{\partial W}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} \mu_e \frac{\partial W}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial z} \mu_e \frac{\partial W}{\partial z} \\ + \frac{\partial}{\partial x} \mu_e \frac{\partial U}{\partial z} + \frac{\partial}{\partial y} \mu_e \frac{\partial V}{\partial z} + \frac{\partial}{\partial z} \mu_e \frac{\partial W}{\partial z} - \frac{\partial}{\partial z} \frac{2}{3} \rho k \end{aligned} \quad (3.3.1.5)$$

- $k - \varepsilon$ modelul de turbulență:

$$\frac{\partial \rho k}{\partial t} + \frac{\partial(\rho U k)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho V k)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho W k)}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x} \frac{\mu_t}{Pr_k} \frac{\partial k}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} \frac{\mu_t}{Pr_k} \frac{\partial k}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial z} \frac{\mu_t}{Pr_k} \frac{\partial k}{\partial z} + P - \rho \varepsilon \quad (3.3.1.6)$$

$$\frac{\partial \rho \varepsilon}{\partial t} + \frac{\partial(\rho U \varepsilon)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho V \varepsilon)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho W \varepsilon)}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x} \frac{\mu_t}{Pr_\varepsilon} \frac{\partial \varepsilon}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} \frac{\mu_t}{Pr_\varepsilon} \frac{\partial \varepsilon}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial z} \frac{\mu_t}{Pr_\varepsilon} \frac{\partial \varepsilon}{\partial z} + \frac{\varepsilon}{k} (c_1 P - c_2 \rho \varepsilon) \quad (3.3.1.7)$$

$$\frac{\partial \mu_t}{\partial y} \frac{\partial \varepsilon}{\partial y} + \frac{\partial \mu_t}{\partial z} \frac{\partial \varepsilon}{\partial z} + \frac{\varepsilon}{k} (c_1 P - c_2 \rho \varepsilon)$$

- ecuația turbulenței P :

$$P = \mu_t^2 \left[\left(\frac{\partial U}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial V}{\partial y} \right)^2 + \left(\frac{\partial W}{\partial z} \right)^2 \right] + \mu_t^2 \left[\left(\frac{\partial U}{\partial y} + \frac{\partial V}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial U}{\partial z} + \frac{\partial W}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial V}{\partial z} + \frac{\partial W}{\partial y} \right)^2 \right] \quad (3.3.1.8)$$

unde:

$$\mu_t = c_\mu \rho \frac{k^2}{\varepsilon}; \quad \mu_\varepsilon = \mu_l + \mu_t \quad (3.3.1.9)$$

sunt coeficienții de turbulență.

3.3.2. ELEMENTE PRIVIND PROGRAMAREA PE ORDINATOR A PROCESELOR TERMOGAZODINAMICE CARACTERISTICE REGIMULUI TURBULENT

Programul pe care l-am utilizat este Phoenics, un program de simulare a proceselor de curgere și transfer termic. Grila pe care am folosit-o este de 80 noduri în direcția axială și 50 de noduri transversal.

Coeficientul de subrelaxare a fost de 10^{-4} și au fost necesare circa 500 de iterații ca să se obțină convergența problemei.

CAPITOLUL 4

INSTALAȚIA EXPERIMENTALĂ ȘI METODICA DE CERCETARE UTILIZATE LA INVESTIGAREA COMPORTĂRII TUBURILOR FIELD

4.1. INSTALAȚIA EXPERIMENTALĂ CU ECHIPARE COMPLETĂ

Instalația experimentală din fig 4.1 are ca principală componentă un schimbător de căldură cu manta paralelipipedică (10), la care, prin schimbarea capacului sau a elementului schimbător de căldură, se pot studia o multitudine de elemente.

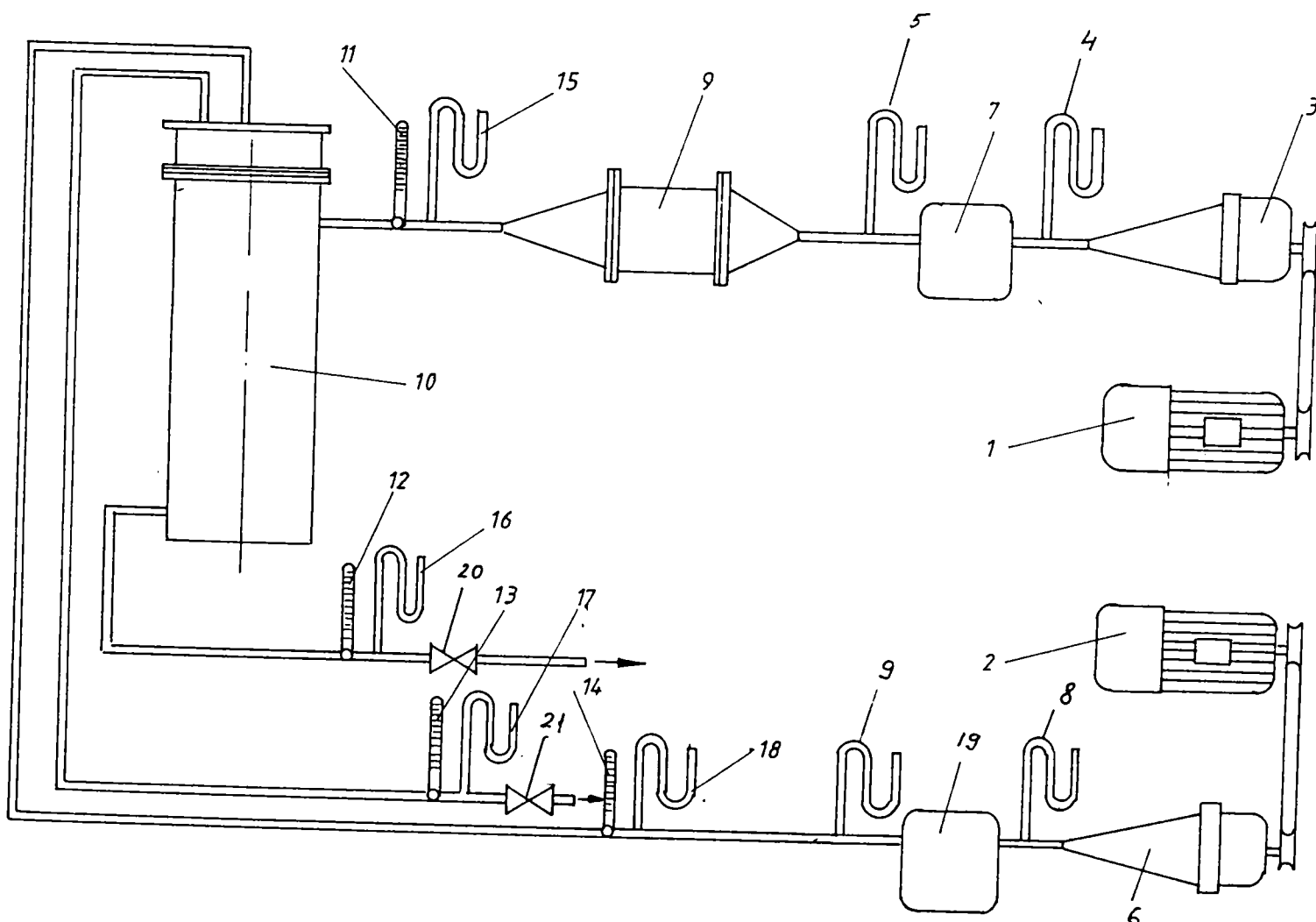


Fig. 4.2

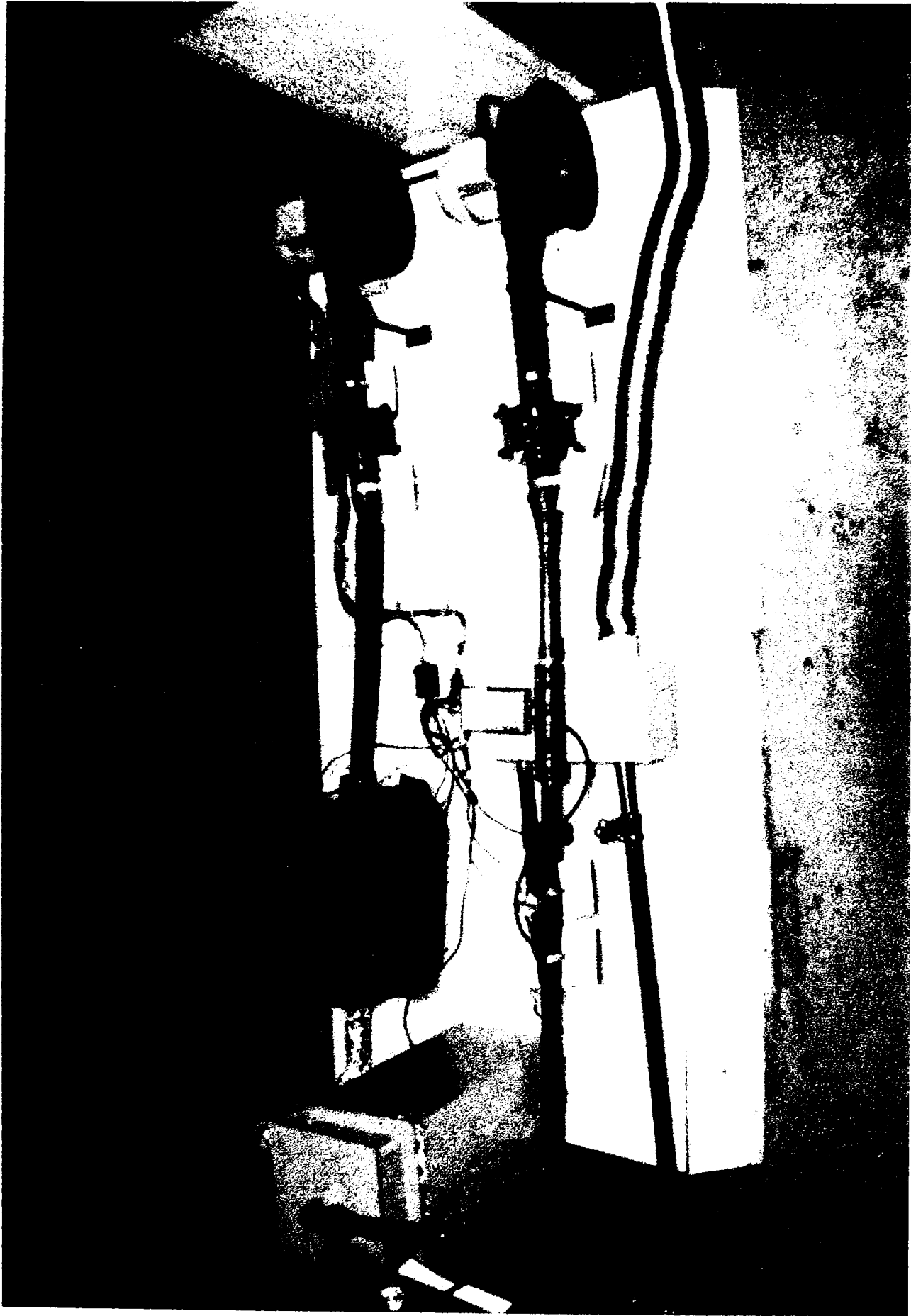


Fig. 4.1

Instalația are două circuite de aer (fig. 4.2) :

- un circuit de aer primar ;
- un circuit de aer secundar.

În circuitul primar, aerul este preluat din mediul ambiant cu ajutorul unei suflante confecționată special pentru acest stand (3) și este refulat în circuit.

Debitul de aer se reglează atât pe circuitul primar cât și pe cel secundar, cu ajutorul a două ventile de reglaj, montate pe refulare.

Aerul primar intră în încălzitorul de aer (9), unde este încălzit.

Încălzitorul de aer este echipat cu 5 rezistențe electrice de 600 W fiecare, care pot fi cuplate după dorință. Puterea încălzitorului de aer este de 3 KW.

Pe circuitul primar și secundar, după suflante, sunt montate două diafragme (7 și 19), cu punctele de măsurare a presiunii 4 și 5 înainte și după diafragma 7, respectiv punctele 8 și 9 pentru diafragma 19.

Pe circuitul primar se măsoară astfel : presiunea p_1^I (4), p_1^{II} (5), temperatura t_1^I (termocupla 11), la intrarea în schimbător pe circuitul primar și temperatura t_1^{II} (termocupla 12), la ieșirea din schimbător. Tot pe circuitul primar se măsoară presiunea p_1^I (15) la intrarea în schimbător și p_1^{II} (16) la ieșirea din schimbător.

Pe circuitul secundar se măsoară presiunea p_{II}^I (8) și p_{II}^{II} (9), temperatura t_2^{II} (termocupla 14) la intrarea în elementul schimbător de căldură și temperatura t_2^{II} (termocupla 13) la ieșirea din schimbător. Tot pe circuitul secundar se măsoară presiunile p_2^I (18) la intrarea în element și p_2^{II} (17) la ieșirea din element.

În continuare, aerul primar intră în preîncălzitorul de aer, unde aerul este preîncălzit. Preîncălzitorul de aer este echipat cu 5 rezistențe de 600 W fiecare la o lungime, deci în total o putere de 3 kW.

Încălzitorul de aer este echipat la intrare cu un difuzor, pentru a destinde aerul care intră în preîncălzitor și pentru o spălare uniformă a rezistențelor electrice iar la ieșire cu un con deflector, pentru a putea fi racordat la conducta de ieșire și pentru intrarea mai departe, în schimbătorul de căldură, unde se realizează cedarea de căldură către aerul secundar.

Conducta de ieșire a aerului primar este liberă în atmosferă.

Circuitul secundar este identic ca și construcție cu circuitul primar până la intrarea în schimbătorul de căldură, aerul care a circulat prin elementul schimbător de căldură ieșind liber în atmosferă, după ce a trecut în prealabil prin ventilul de reglaj 21.

Pentru a avea posibilitatea urmării schimbului de căldură, se poate demonta tubul în formă de U din capacul preîncălzitorului și din ieșirea debitmetrului de gaz de pe circuitul de aer secundar, cu ieșire liberă din schimbătorul de căldură.

Etanșarea între cele două circuite și schimbătorul de căldură se realizează prin garnitură de clingherit 270×270 iar strângerea flanșelor se realizează prin șuruburi.

DESCRIEREA SCHEMEI STANDULUI EXPERIMENTAL

a. Circuitul primar este format din motorul electric 1, ventilul 5, debitmetrul 7, preîncălzitorul de aer cu rezistență electrică 9, manometrele 15 și 16 și termocuplele 11 și 12.

b. Circuitul secundar este alcătuit din motorul electric 2, ventilul 6, debitmetrul 8, manometrele 17 și 18 și termocuplele 13 și 14.

Tubul "U" este realizat din tablă de alamă, alămit la diametrul de 35 mm. Grosimea peretelui conductei este de 1 mm, pentru a realiza cât mai bine schimbul de căldură. La intrare și ieșire, tubul "U" a fost racordat la instalație prin sudură în capacul schimbătorului de căldură, cu posibilitatea de demontare din ambele părți.

Tubul "FIELD" este construit din aceeași tablă de alamă. Diametrul tubului exterior este $D = 50$ mm.

Există mai multe variante de tub interior (fig. 4.3), cu diametrele : $d_1 = 30$ mm, $d_2 = 35$ mm, $d_3 = 40$ mm, $d_4 = 19$ mm și cu diametrul $d_5 = 19$ mm prevăzut cu nervuri. Tubul Field cu $d_2 = 35$ mm este realizat și în varianta cu $h = 6$ mm, 13 mm și 22 mm, precum și în varianta cu rugozitate interioară, exterioară și interior-exterioară.

Pentru a putea face un studiu comparativ între tubul "U" cu diametrul $d = 35$ mm și tubul cu diametrul $d = 19$ mm, s-a pus condiția ca suprafețele de schimb de căldură ale celor două tipuri de tuburi să fie egale.

Ieșirea aerului se realizează tot pe la partea superioară a capacului sudat.

Între intrarea și ieșirea tubului "FIELD" sunt montate distanțiere, pentru evitarea strangulării circulației aerului pe o parte sau alta a tubului.

Antrenarea suflantelor de aer secundar și primar se realizează cu două motoare electrice, pornirea realizându-se cu doi condensatori cu o putere de 20 μ F fiecare.

CARACTERISTICI ALE MOTOARELOR:

$n = 2800$ rot/min, $P = 0,55$ kW, $U = 380$ V, $\cos \varphi = 0,85$

Legarea motoarelor se realizează în stea.

Transmisia între motor și ventilator se realizează prin intermediul unei cuple.

Toată instalația este așezată pe un suport din PAL melaminat cu următoarele dimensiuni :

| | | |
|-----|---|--|
| 2 X | { | 960 mm - lățime |
| | | 110 mm - înălțime |
| | | 170 mm - picioarele înclinate ale suportului |

4.2. CARACTERISTICILE INSTALAȚIEI

1. Coturile folosite au $\varnothing 40$ mm exterior și $\varnothing 30$ mm interior, filetate la ambele capete.

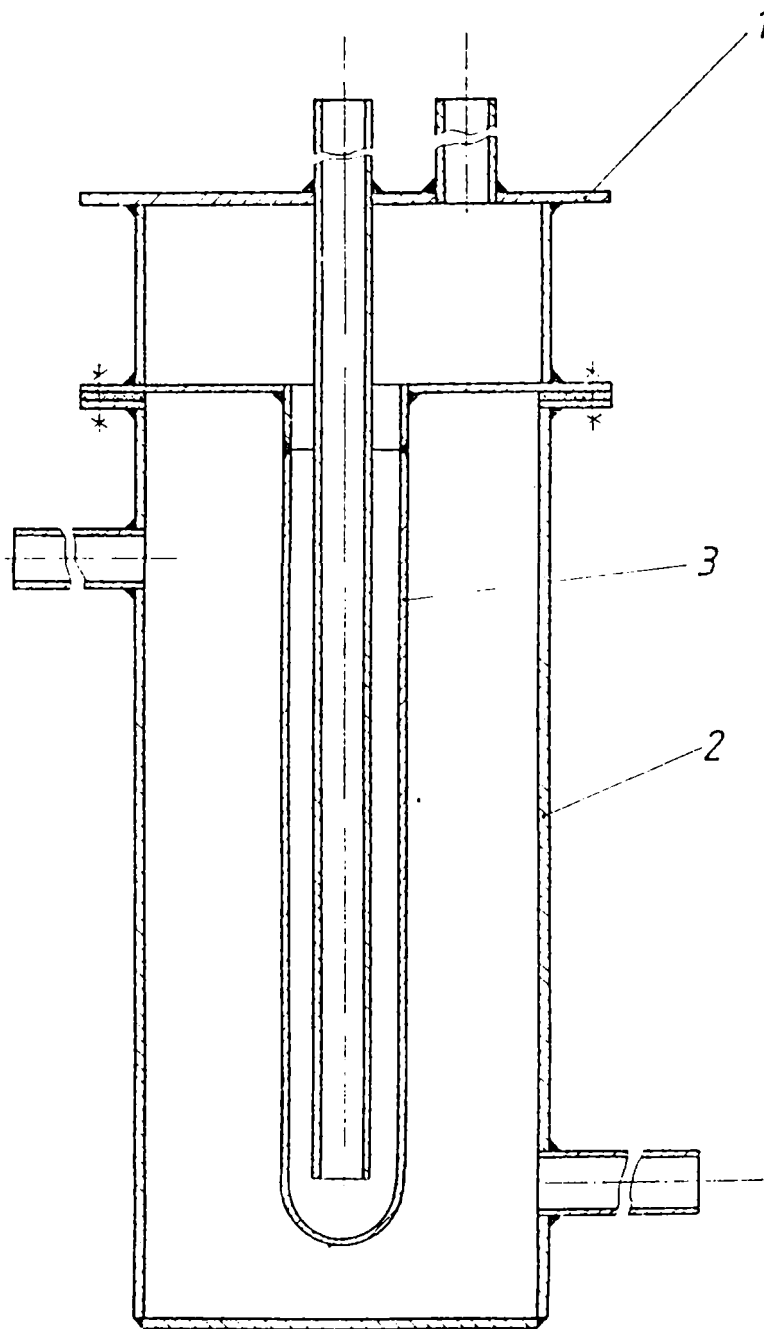
2. Tronsonul este din țevă cu $\varnothing 32$ mm exterior, cu filet și $\varnothing 22$ mm interior, din OLC 32.

AER PRIMAR

1 suflantă; 1 con deflector 80×32 mm; 9 coturi;

SCHIMBĂTOR DE CĂLDURĂ

- 510 mm - înălțime ;
- 270 x 270 mm - lățime ;
- 290 x 290 mm - lățime flanșe ;
- ștuțuri de racord : 2 bucăți de 30 x 10 mm ;
- tablă OLC 32 de 4 m (fig.4.5).



Legenda

- 1. Capac schimbător
- 2. Corp schimbător
- 3. Tub

Fig. 4.5.

-1 suflantă; 11 coturi; con deflector 80 × 32 mm.

Pentru evitarea vibrațiilor, legătura între suflantă și instalație s-a făcut elastic, prin intermediul unui furtun de cauciuc pe ambele circuite.

În vederea izolării termice a părților calde ale instalației, s-a realizat o izolație a preîncălzitorului de aer cu șnur de azbest, vată de sticlă și plăci izolatoare, toate îmbrăcate în tablă de aluminiu. Preîncălzitorul este așezat pe o placă de azbest. Țeava este izolată cu șnur de azbest și folie de aluminiu. Analog este izolat și schimbătorul de căldură.

Pentru a evita modificarea temperaturii în incinta în care se fac măsurătorile, evacuarea aerului se face de pe cele două circuite în atmosferă, prin intermediul unui tub special.

4.3. PANOUL DE AUTOMATIZARE ȘI MĂSURĂ

PANOUL DE COMANDĂ ȘI MĂSURĂ STAND EXPERIMENTAL

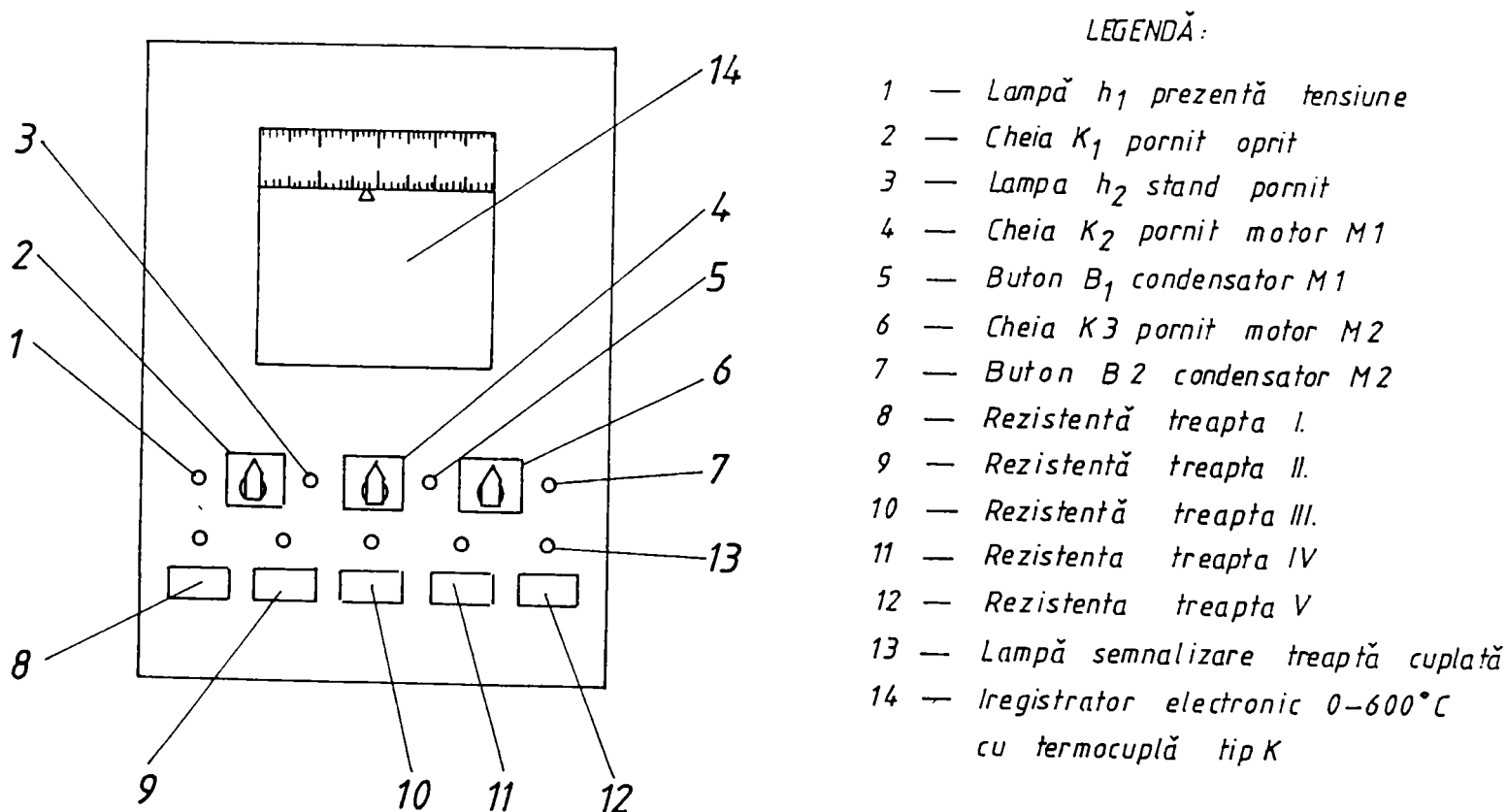


Fig. 4.6



Fig. 4.3

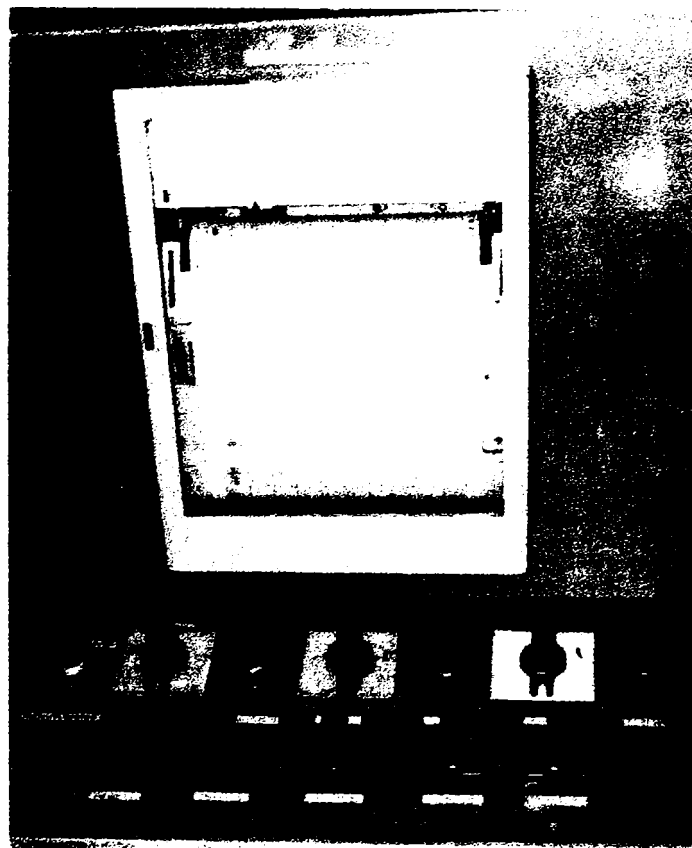


Fig. 4.4

Rolul panoului de automatizare și de măsură (fig. 4.4 și fig. 4.6) este de a alimenta motoarele electrice de acționare a ventilatoarelor de aer cu o tensiune de 220 V, la o frecvență de 50 Hz; de a alimenta cu tensiune rezistențele electrice ale preîncălzitorului de aer (cu 5 trepte de încălzire) și de a prelua informațiile de temperatură și presiune de la sondele amplasate în punctele de măsură ale schimbătorului de căldură (anexa D1).

Panoul de automatizare și măsură este confecționat din fier cornier (20 × 20 mm) și tablă de fier cu grosimea de 0,70 mm.

Pe panoul frontal al dulapului este amplasat înregistratorul electronic cu 12 puncte de măsurare și 4 manometre de sticlă tip "U".

Panoul de comandă conține următoarele elemente:

- ◆ lampă h1 care semnalizează prezența tensiunii;
- ◆ cheia comutatorului K1, cu funcția "pornit - oprit" standard;
- ◆ lampă h2 care semnalizează poziția "pornit";
- ◆ cheia comutatoare K2, pentru pornirea motorului M1;
- ◆ butonul B1 pentru cuplarea condensatorului de pornire a motorului M1;
- ◆ cheia comutatorului K3 pentru pornirea motorului M2;
- ◆ butonul B2 pentru cuplarea condensatorului de pornire a motorului M2;
- ◆ cuplele $d_1 \div d_5$ pentru alimentarea celor 5 trepte de încălzire;
- ◆ lămpile $h_3 \div h_7$ care semnalizează poziția "cuplat" a treptelor 1...5 de încălzire.

Pe peretele lateral dreapta a dulapului sunt amplasate fișele de cuplare F1 și F2, care fac legătura între dulap și standul experimental.

PUNEREA ÎN FUNCȚIUNE A STANDULUI

Se introduce ștecherul cu împământare într-o priză prevăzută cu legătură de protecție la pământ. Prezența tensiunii în dulap este semnalizată de lampa h1.

Se cuplează cheia K1, prin rotire spre dreapta. Poziția "stand cuplat" este semnalizată de lampa h2. Pornirea motorului M1, care acționează ventilatorul V1 a circuitului primar, se face acționând cheia K2, concomitent cu apăsarea butonului B1. După ce motorul intră în regim normal de turație, butonul B1 se eliberează. Oprirea motorului M1 se face prin revenirea cheii K2 în poziția "OPRIT". Pornirea motorului M2, care acționează ventilatorul V2 a circuitului secundar, se face acționând cheia K3 și apăsând butonul B2. La intrarea rotorului în regim normal de turație, butonul B2 se eliberează. Oprirea motorului se face prin revenirea cheii K3 în poziție "OPRIT".

Alimentarea treptelor de încălzire se face prin introducerea cuplelor $d_1 \div d_5$. Poziția cuplat a treptelor de încălzire este semnalizată corespunzător de lămpile $h_3 \div h_7$ ale fiecărei trepte.

În interiorul dulapului sunt amplasate siguranțele calibrate, șirul de cleme L1 și condensatorii de pornire C1 și C2.

Siguranțele e1 și e2 sunt montate pe faza și nulul tensiunii de alimentare.

Siguranța e3 alimentează circuitul de comandă al motorului M1 iar siguranța C4 alimentează circuitul de comandă al motorului M2. Siguranța e5 alimentează înregistratorul electronic.

Siguranțele e1 și e2 sunt calibrate la 20 A , e3 și e4 sunt calibrate la 10 A iar e5 la 6 A.

Preîncălzitorul de aer este prevăzut cu 5 rezistențe de încălzire care pot fi cuplate în 5 trepte.

Rezistențele sunt bobinate spiralat pe suport ceramic, puterea consumată de la rețea fiind de 600 W/ treaptă.

$$P_{total} = 600 \text{ W} \cdot 5 = 3000 \text{ W}$$

Curentul total este de 13,65 A.

Suportul ceramic al rezistențelor de încălzire este fixat de părțile laterale ale încălzitorului cu șuruburi M6 și contrapiulițe.

Terminalele rezistențelor sunt legate la bornele ceramice prevăzute cu șuruburi M4 și șaibe de strângere.

Pentru a asigura o bună etanșare și siguranță la temperaturi ridicate, terminalele au fost izolate cu silicon refractar.

Schema de comandă și măsură a standului experimental este prezentată în figura 4.7

Rezistența de control a conexiunii este $\approx 0,015 \Omega$.

Rezistența de izolație între carcasa preîncălzitorului și oricare din bornele de legătură este $> 50 \text{ m}\Omega$.

Carcasa preîncălzitorului este legată conform N.P.M. la masă printr-un conductor lițat $\Phi 1,6 \text{ mm}$, prevăzut cu papuc legat cu șurub M4 și șaibe de contact.

Rezistența de contact la masă este de $\approx 0,015 \Omega$.

Motoarele de antrenare a ventilatoarelor sunt motoare trifazice în conexiune Y, cu pornire prin condensatori de pornire $2 \times 20 \mu\text{F}/220 \text{ V}$ c.a. Sunt motoare asincrone, cu rotorul în colivie.

Caracteristicile motoarelor sunt :

$$U_n = 380 / 220\text{V}$$

$$P_n = 0,55\text{kW}$$

$$I_n = 2,5\text{A}$$

$$n = 2980\text{rot} / \text{min}$$

Motoarele sunt legate la borna de împământare conform N.P.M.

Legatura electrică între standul experimental și dulapul de automatizare și măsură este realizată prin două cabluri prevăzute cu fișe de cuplare.

Cablul 1 protejat în tub conex, alimentează partea de forță - motoarele și rezistențele de încălzire, face legătura între șirul de cleme L1 din dulap și L2 montat pe stand - prin intermediul fișei de cuplare F1.

Conductorul de prelungire a termocuplei este de tip 2 x 1,5 și face legătura între șirul de cleme L2 ale înregistratorului și clemele de legare a termocuplelor (vezi schema electrică a dulapului). Termocuplele sunt de tip K (cromel-alumel).

INREGISTRATORUL ELECTRONIC COMPENSAT ELR 362/ELR 362A

LOCUL OCUPAT ÎN SISTEM

Aceste aparate fac parte din categoria aparatelor secundare de panou și servesc la indicarea și înregistrarea cu precizie ridicată a semnalului măsurat, lucrând direct cu elemente sensibile în instalațiile de reglare a temperaturii, umidității, etc. Înregistratoarele sunt prevăzute cu diagrame și realizează o înregistrare continuă sau discontinuă a parametrului măsurat.

Durata de funcționare a unei diagrame este de 30 zile pentru viteza de deplasare de 20 mm/h.

CONSTRUCȚIA ÎNREGISTRATORULUI

Înregistratorul E 362 se compune dintr-o carcasă metalică în care se găsește ansamblul funcțional, format din mecanismul de indicare - înregistrare și mecanismul de deplasare a benzii diagramei.

Carcasa este prevăzută cu o ușă metalică cu geam, având posibilitatea de înzăvorâre (fără cheie de blocare). Pe partea din spate a cutiei este amplasată placa de borne a aparatului, pentru conectarea acestuia în bucla de reglare și la rețea. Placa de borne este prevăzută cu conectori din material plastic, fixarea conductorilor făcându-se cu papuci. Placa de borne este acoperită cu un capac de metal fixat cu două șuruburi. Conductoarele sunt introduse prin părțile laterale ale cutiei prin opt găuri prevăzute cu dopuri din material plastic. Fixarea aparatului pe panou se face cu ajutorul a două plăci de fixare. Pe partea laterală a carcusei mai este prevăzută o gaură (acoperită în mod normal cu eticheta), în care se fixează, la cerere, racordul pentru purjare cu aer.

În interior, carcasa este prevăzută cu un dispozitiv de închidere și zăvorâre a ansamblului, permițând extragerea parțială a acestuia, pentru efectuarea manevrelor curente sau extragerea completă, pentru operații normale de întreținere. Legăturile electrice între placa de borne de pe carcasă și ansamblul funcțional sunt asigurate prin cabluri flexibile, prevăzute cu conectoare.

ANSAMBLUL MECANISMULUI DE INDICARE - ÎNREGISTRARE

Subansamblele componente ale mecanismului de indicare - înregistrare sunt fixate pe o placă de bază.

Aceste subansamble sunt :

1) SCALA

Este așezată pe partea frontală a mecanismului de indicare și este fixată cu două șuruburi pe suporturi speciali ; pe scală sunt inscripționate seria aparatului, elementul care se conectează la bornele de intrare , scara gradată, unitatea de măsură și factorul de scală.

Scala este gradată în mod corespunzător intrării în aparat (temperatură, umiditate, debit, presiune etc.) și în domeniul în care se dorește să se facă măsurătorile.

Reglarea poziției relative între punctele de maxim și minim ale domeniului de măsurare și punctele de 0 și maxim ale diagramei este făcută de firma constructoare, în limitele prescrise specifice pentru fiecare aparat.

2) *REZISTENȚA VARIABILĂ CU CURSOR*

Subansamblul rezistențelor variabile cu cursor se compune dintr-o placă specială pe care se pot monta maxim trei rezistențe variabile (una pentru funcția de bază și două pentru funcțiile suplimentare ale operațiilor, în cazul aparatelor cu scală simplă sau două pentru funcția de bază și una pentru funcția suplimentară, în cazul aparatelor cu scală dublă).

Tot pe această placă sunt montate și restul circuitelor care compun circuitul de măsură.

Periile care preiau semnalul de pe potențiometru sunt de tipul cu două contacte, pentru a asigura contactul permanent. Contactele periilor sunt făcute dintr-un aliaj special și rezistent la uzură pentru un timp îndelungat.

3) *MECANISMUL DE INDICARE - IMPRIMARE*

Înregistratoarele cu imprimantă conțin mecanismul de imprimare în 2 ÷ 12 puncte diferite de măsurat. Imprimarea se face în două, trei sau șase culori (negru, roșu, albastru, maron, verde și violet).

Mecanismul alunecă pe barele de ghidare prin intermediul unor rulmenți în miniatură. El conține: acul indicator al valorii măsurate, imprimatorul, tamburul de afișare, tușiera și suportul periilor rezistenței cu cursor.

Deplasarea mecanismului pe barele de ghidare se face de către servomotor prin intermediul unei curele profilate iar schimbarea punctului de măsură (sincronizat și cu schimbarea culorii) și imprimarea diagramei, se face prin intermediul mecanismului de acționare a imprimatorului.

4) *MECANISMUL DE ACȚIONARE A IMPRIMATORULUI*

Se compune dintr-un motor sincron și un mecanism reductor cu Cruce de Malta, pentru comutări. Legătura dintre mecanism și imprimantă se realizează printr-o curea profilată pentru comutarea punctului de măsură și o pârghie pentru operația de imprimare. Tot pe acest mecanism se poate monta o camă specială și un microîntrerupător, necesar pentru comutatorul de impuls, în cazul funcțiilor suplimentare S și H.

Alimentarea motorului asincron se face prin intermediul unui cablu cu fișe, de la cutia de borne.

5) *COMUTATORUL PAS CU PAS*

Acest mecanism se folosește în cazul înregistratorului cu imprimator, în scopul comutării circuitului de intrare, pe de o parte iar pe de altă parte pentru comutarea circuitului de ieșire, în cazul funcțiilor suplimentare S și H.

Acest mecanism este montat sub mecanismul de acționare a imprimatorului și cuplat cu acesta prin intermediul unei roți dințate, în vederea acționării și a sincronizării cu mecanismul de înregistrare.

Ansamblul comutatorului poate cuprinde 1 - 2 comutatoare, unul pentru comutarea internă și al doilea pentru comutarea domeniului de măsurare sau pentru funcțiile S și H.

În cazul înregistratorului cuplat cu detectorul de umiditate, se mai montează un microîntrerupător acționat de o camă, pentru comutarea domeniului de sensibilitate, precum și o placă cu rezistențe de ajustare a rezistenței cablului de transmitere a semnalului de intrare, a căror valoare poate fi de 5 sau 8 Ω .

6) MECANISMUL DE INDICARE - ÎNREGISTRARE CU PENIȚĂ

Acest mecanism se folosește în cazul înregistratoarelor fără sufixul A. Se află montat în locul mecanismului cu imprimantă, ghidat pe aceleași bare.

Acest mecanism se compune din sistemul de ghidare cu rulmenți în miniatură și subansamblul peniței. Alimentarea cu cerneală a peniței se face prin intermediul unui tub din vinilin, protejat de un înveliș metalic elastic, de la călimara montată pe placa de bază a mecanismului de indicare. În cazul înregistratoarelor cu peniță nu mai sunt necesare mecanismele descrise la punctele 3, 4 și 5.

7) SERVOMOTORUL

Servomotorul se montează pe placa de bază a mecanismului de indicare, prin intermediul unui suport pe care este prevăzut și întinzătorul de curea.

Transmiterea mișcării de la servomotor la mecanismul de înregistrare - indicare (sau indicare - imprimare) se face prin intermediul unei curele profilate din material plastic, cu inserție metalică. Conectarea servomotorului la amplificator se face prin intermediul unui cablu prevăzut cu fișă.

8) AMPLIFICATORUL CU CIRCUIT INTEGRAT

Amplificatorul F 603 + F 232 A și B sau F 604 + F 233 A și B (alegerea tipului de amplificator depinzând de nivelul semnalului de intrare) este amplasat pe o placă specială, montată pe latura din dreapta (privind dinspre scală) a șasiului aparatului.

Amplificatorul se compune din ansamblul amplificator pentru servomotor (F 603 sau F 604) și ansamblul amplificator de eroare (F 232 A și B sau F 233 A și B).

Alimentarea amplificatorului de la cutia cu borne se face prin intermediul unui cablu cu fișă, de la o priză cu nouă contacte, situată pe latura din dreapta a cutiei cu borne.

9) CUTIA CU BORNE A SUBANSAMBLULUI FUNCȚIONAL

Se află montată pe placa de bază a mecanismului de indicare, în spatele servomotorului. Ea conține toate conexiunile pentru alimentarea cu tensiune a aparatului, circuitului de măsură, circuitelor de semnalizare și reglare, etc.

Cutia este legată cu placa de borne prin intermediul unui cablu cu fișă multipolară cu 30 poli (în cazul aparatelor cu imprimantă sunt două astfel de cabluri).

FUNCȚIONAREA ÎNREGISTRATORULUI

FUNCȚIONAREA APARATULUI DE BAZĂ

Schema funcțională a aparatelor înregistratoare E 362 și E 5362 se bazează pe principiul compensării automate a semnalelor de tensiune, iar cea a aparatului înregistrator pe metoda punții Wheatstone. Ca urmare, semnalul de intrare este comparat cu o tensiune sau rezistență variabile, a cărei valoare este proporțională cu valoarea instantanee indicată de aparat.

Semnalul de eroare (diferența dintre semnalul de intrare și valoarea indicată) se aplică amplificatorului de eroare F 232 de curent continuu cu circuite integrate, acesta furnizând la ieșire un semnal de c.c. a cărui polaritate depinde de semnul erorii.

Semnalul de ieșire a amplificatorului de eroare este aplicat unui etaj de comandă echipat cu tranzistoare complementare, care acționează servomotorul de c.a. care acționează asupra mecanismului de indicare, schimbând valoarea indicată până ce aceasta coincide cu valoarea semnalului de intrare, respectiv până la anularea diferenței de la intrarea aplicatorului, moment în care acul indicator arată valoarea semnalului aplicat la intrare.

Potrivit celor de mai sus, produsul E 362 se diferențiază prin natura semnalului aplicat la intrare (termocuple, termorezistențe, pirometre de radiație, etc.) iar funcțional, prin schema punții de compensare.

Totodată, pentru a se asigura un grad înalt de tipizare în construcția blocurilor electronice, schema lor funcțională se diferențiază doar prin tipul amplificatorului de eroare folosit, care se alege în funcție de nivelul semnalului de intrare.

Astfel, blocurile F 232 A și B au aceeași schemă funcțională, ele deosebindu-se doar prin faptul că utilizează un amplificator hibrid pentru semnalele de intrare de 100...1000 mV și un altul, tot hibrid, pentru semnale de intrare de 25...100 mV.

La fel, blocurile F 233 A și B au aceeași schemă funcțională, deosebindu-se doar prin tipul preamplificatorului utilizat: la semnalul de intrare de 10...25 mV și la semnalul de intrare de 2...10 mV. Ambele blocuri utilizează în etajul al doilea de amplificare un același circuit integrat.

VERIFICAREA ȘI REGLAREA APARATULUI

Aparatura necesară:

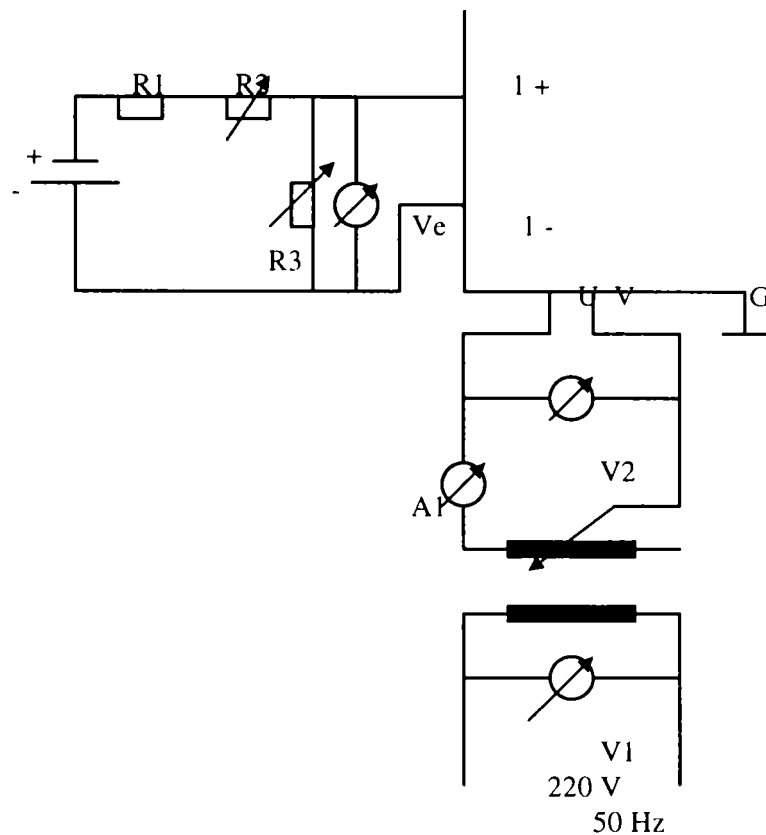
- voltmetru c.c./c.a. clasa 2,5 , minim 1000 Ω /volt;
- sursă reglabilă 0...20 mA/ 0...5 V, precizia 0,05% sau potențiomtru compensator de laborator;
- voltmetru numeric cu 5 1/2 cifre semnificative;
- cutii diodice de rezistențe;
- rezistor etalon de 10, 100 Ω ;
- megaohmetru 500 V c.c.;
- întrerupătoare mono și bipolare, conductoare de conexiuni.

Orice verificare a caracteristicilor electrice ale aparatului se face numai după un timp de încălzire de minim 15 minute.

Verificările care se fac aparatului sunt:

- verificarea mecanică;
- verificarea rezistenței de izolație;
- verificarea funcționării;
- verificarea sensibilității;
- reglarea amplificării;
- verificarea răspunsului dinamic;
- verificarea indicației cu rezistență de control.

Schema de reglare a aparatului



R1 - rezistența de protecție $1 \text{ k}\Omega \pm 0,1 \%$;

R2, R3 - rezistențe în diode cu precizia $\pm 0,1 \%$, trepte de reglare $0,01 \Omega$, curent maxim 1 mA ;

Ve - voltmetru electronic cu $5 \frac{1}{2}$ cifre;

V1, V2 - voltmetre de c.a. $2,5 \%$;

A1 - ampermetru c.a. $2,5 \%$.

Măsurarea temperaturilor se face concomitent cu aparatură digitală și cu aparat înregistrator, rezultând diagrame ca cea din figura 4.8.

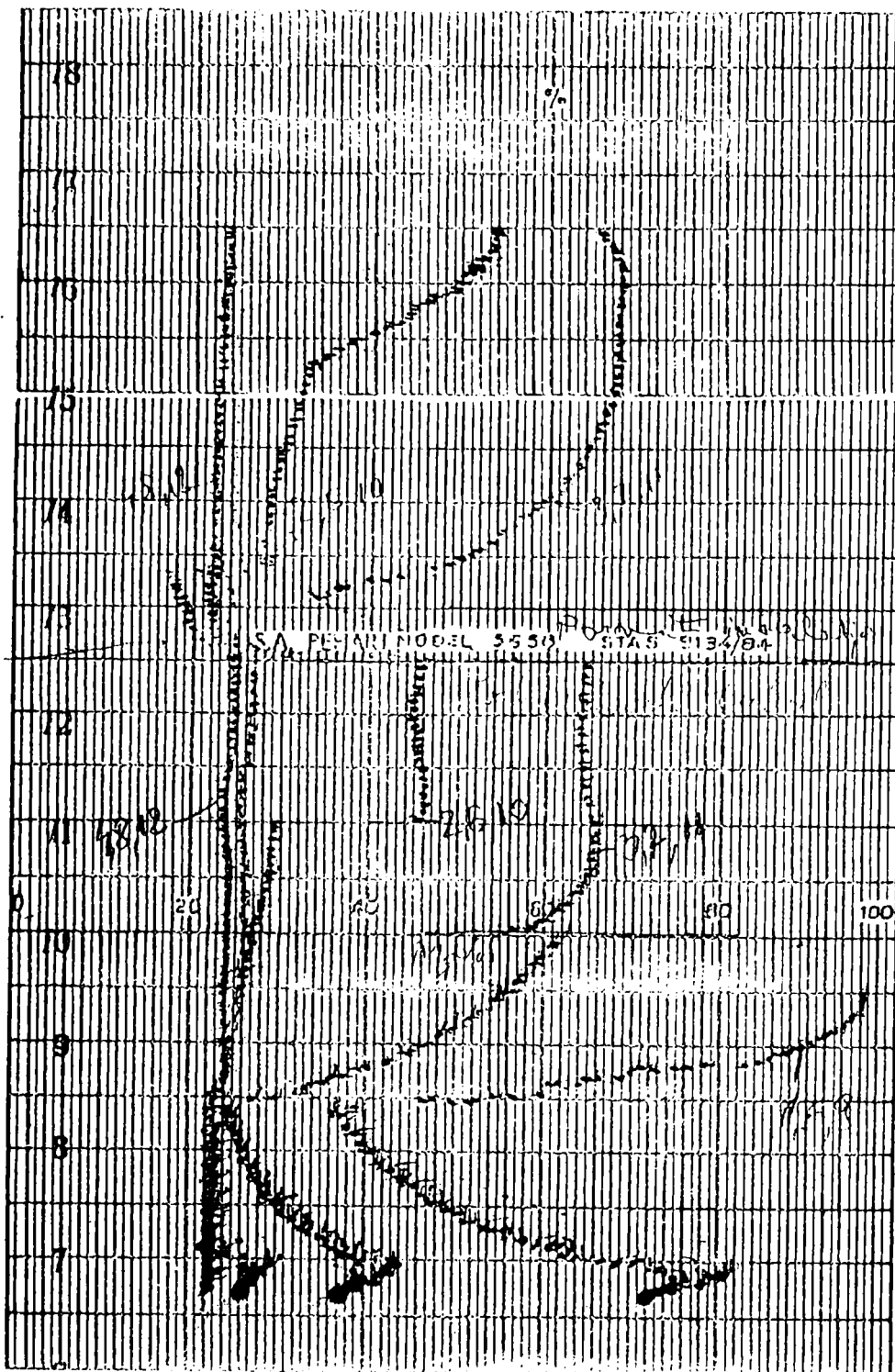
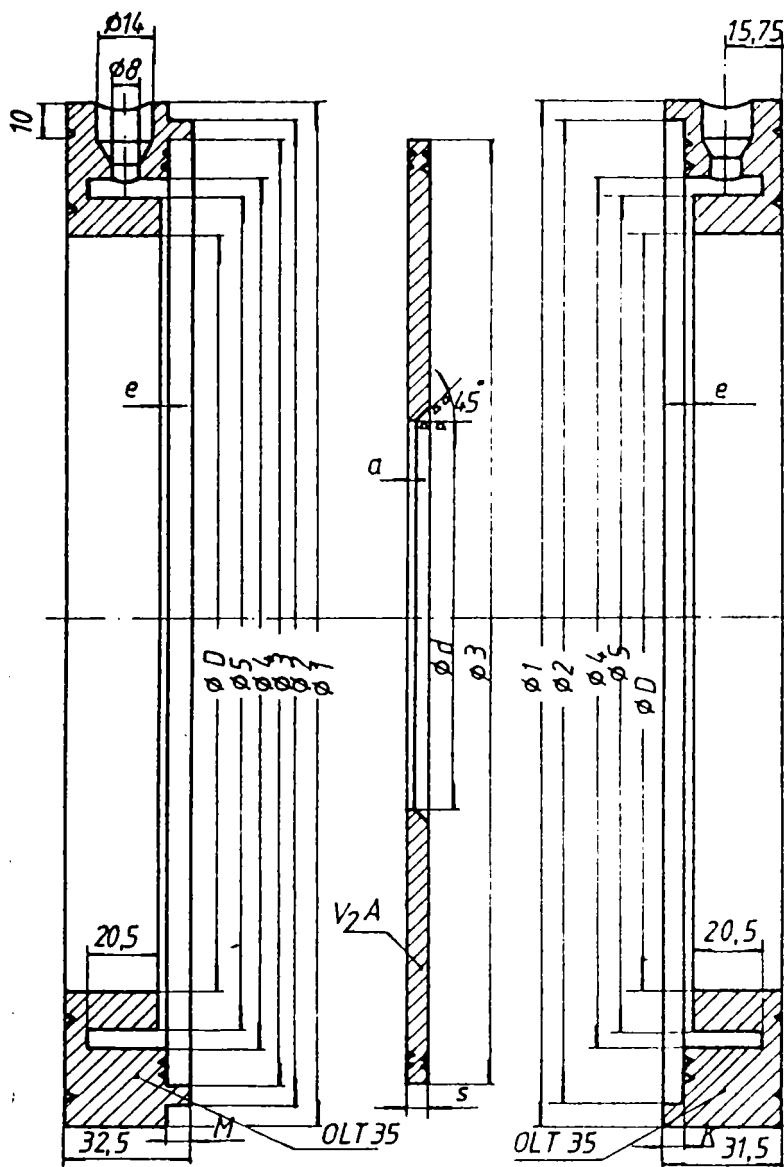


Fig. 4.8.

MĂSURAREA DEBITELOR

Pentru măsurarea debitelor de aer de pe circuitul primar și de pe cel secundar se folosesc două diafragme, dimensionate conform STAS-ului și care au elementele date în figura 4.9.



| DIH NR. STAF. | ϕ_d | ϕ_1 | ϕ_2 | ϕ_3 | ϕ_4 | ϕ_5 | ϕ_D | a | e | N | K | S | | |
|------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-----|-----|---|-----|---|-----|---|
| I | 16 mm | 10,6 | 10,1 | 10,2 | 9,6 | 9,58 | 8,6 | 8,1 | 5,0 | 1 | 1,5 | 3 | 3,5 | 3 |
| II | | | | | | | | | | | | | | |
| III | | | | | | | | | | | | | | |
| IV | | | | | | | | | | | | | | |
| V | | | | | | | | | | | | | | |
| VI | | | | | | | | | | | | | | |
| VII | | | | | | | | | | | | | | |
| VIII | | | | | | | | | | | | | | |
| IX | | | | | | | | | | | | | | |
| X | | | | | | | | | | | | | | |

$Q = 25 \text{ m}^3/\text{h}$
 D_i (diametr. int. conductă) = 50 mm
 d (diametr. orificiu diafr) = 16 mm
 $p = 1 \text{ bar} = 100 \text{ kPa}$
 $t = 20^\circ\text{C}$
 $\delta_{\text{aer } 20^\circ\text{C}} = 1,165 \text{ kgf/m}^3$
 1 bar
 $h_{\text{max}}(\text{presiune dif}) = 187 \text{ mm col H}_2\text{O}$
 - Executie fină STAS 2300-75.

Fig.4.9.

Debitul este dat de formula:

$$m = k \cdot \sqrt{\Delta p} = 1,828 \sqrt{\Delta p} \quad [\text{m}^3/\text{h}]$$

Pentru măsurarea presiunii înainte și după diafragme, precum și la ieșirea din schimbător, respectiv din elementul de schimbător, se folosește o instalație portabilă pentru măsurarea presiunilor, "Intercal P", care este un tester pneumatic performant din punct de vedere al preciziei, stabilității și ergonomiei, fiind produs de firma Hathaway-Beta Products, model 320, cu doi traductori de presiune incluși.

Prin opțiunea utilizatorului, calibratorul poate fi echipat pentru domeniul de măsurare dorit.



Fig. 4.10

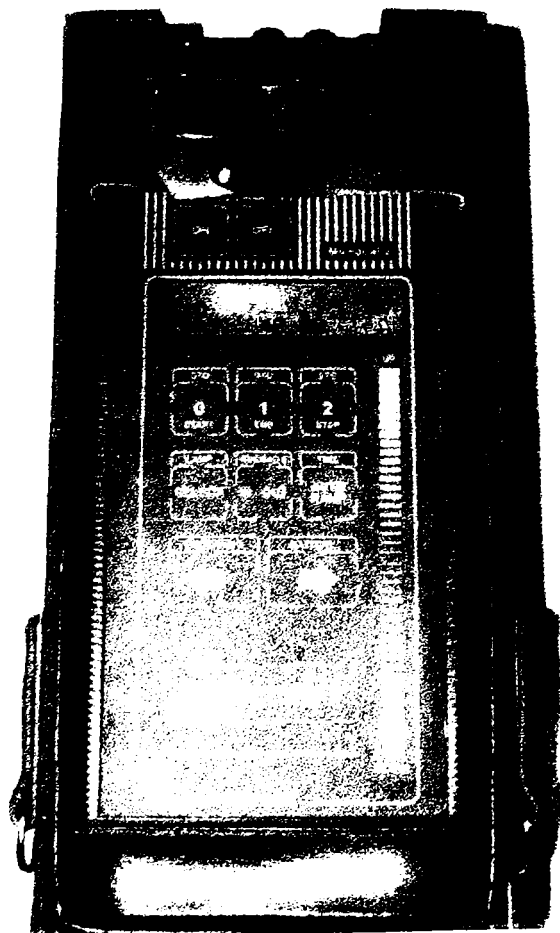


Fig. 4.11

APARATUL CALIBRATOR MODEL 320

Intercal P model 320 (figura 4.10) este un calibrator compact și multifuncțional. El este comandat prin meniuri, astfel încât tehnicienii îl pot folosi de la început la întreaga capacitate, fără o pregătire intensivă în acest sens.

Placa frontală a modelului 320 conține trei zone funcționale:

- în partea superioară se află un ecran de afișaj alfanumeric, pe două linii, de tipul cu cristale lichide (LCD), destinat indicării simultane a presiunii și a curentului/tensiunii măsurate, ca și pentru afișarea unor mesaje destinate operatorului;

- zona centrală conține o tastatură de tipul cu membrană, prin intermediul căreia operatorul introduce comenzi sau răspunsuri la mesaje;

- porțiunea inferioară stângă conține trei borne de intrare îngropate, pentru conectorii (furnizați împreună cu instrumentul) ce fac legătura electrică cu dispozitivul de calibrat; conectorii de presiune se află în partea inferioară a carcasei și sunt de tipul FNPT, de 1/8"; precizia pentru presiune (cel mult o cifră semnificativă) este de 0,03%.

Pentru măsurarea temperaturilor se folosesc termocuple tip K (cromel – alumel), care lucrează pe baza fenomenului termoelectric, respectiv pe principiul producerii unei forțe electromotoare la încălzirea sudurii a două conductoare din metale sau aliaje diferite.

MĂSURAREA TEMPERATURII

Măsurarea temperaturii se face cu un aparat înregistrator dar și cu un aparat digital Micro Cal 2 (figura 4.11).

Domeniul și precizia utilizării termocuplei tip K, măsurată cu ajutorul aparatului Micro Cal 2 este următorul:

| Intrare/ ieșire | Domenii | Rezoluția | Eroare la calibr. (+;-) | Conf. | Eroare la conv. (+;-) | Eroare la simul. Rtd/rez. (+;-) | Eroarea tot. la simul. Rtd/rez ca% din val.max. (+;-) | Eroarea tot. Ca% din val.max. (+;-) |
|--------------------|---------------------------------------|--------------|-------------------------------|-----------------|-----------------------------|--|---|---|
| K | -160,0 ÷1250,0°C 250÷2444°F | 0,1°C 1°F | 0,1°C 0,18°F | 0,1°C 0,18°F | 0,°C 0,36°F | 0,25°C 0,44°F | 0,018 0,016 | 0,029 0,027 |

Micro Cal 2 reprezintă un sistem complet de testare, măsurare și calibrare, realizat sub forma unui unic instrument compact și portabil.

4.4. SIMILITUDINEA FIZICĂ

GENERALITĂȚI

Stabilirea ecuațiilor diferențiale care descriu fenomenul fizic într-un schimbător de căldură este în general posibil chiar și în cazul fenomenelor foarte complexe.

Din aceste motive, foarte multe probleme ale fizicii sunt rezolvate pe cale experimentală.

Dar unele fenomene nu pot fi studiate nici pe această cale, din diferite cauze. În aceste cazuri se face apel la “modele” iar rezultatele experimentale obținute pe această cale pot fi extinse și asupra originalelor, dacă între modele și original există similitudine geometrică și fizică.

Similitudinea geometrică se reduce la egalități de unghiuri și la rapoarte egale între distanțe omologe.

Similitudinea fizică se bazează pe egalitatea, la model și la original, a așa numitelor criterii de similitudine, numite și invarianți. Dacă aceste criterii îmbracă toate fenomenele fizice caracteristice, similitudinea conține toate mărimile de stare care caracterizează fenomenul în cauză.

Legile similitudinii permit:

- să se extindă imediat rezultatele unei singure experiențe asupra unui întreg grup de fenomene asemenea;

- să se urmărească, prin relații criteriale, desfășurarea fenomenelor;

- să se rezolve probleme fizice pe baza similitudinii.

Pentru aplicarea metodelor similitudinii se pot utiliza fie ecuații fundamentale, fie metoda analizei dimensionale.

O metodă tot mai des utilizată în fizică, mai ales în fenomene complicate, este utilizarea ANALOGIEI. În aceste cazuri se face apel la modele, de obicei electrice, care reproduc analog fenomenul original.

Pentru studiul tuburilor Field lise și cu nervuri s-au realizat mai multe tipuri de modele, inclusiv pentru tubul U.

4.5. CRITERII DE SIMILITUDINE

Pentru schimbătoarele de căldură compacte, lucrând în regim staționar, se utilizează următoarele criterii de similitudine:

- criteriul Reynolds (Re):

$$Re = \frac{wl}{\nu}$$

- criteriul Grasshof (Gr):

$$Gr = \frac{g\gamma\Delta tl^3}{\nu^2}$$

- criteriul Peclet (Pe):

$$Pe = \frac{wl}{a} = Re Pr$$

- criteriul Prandtl (Pr):

$$Pr = \frac{\nu}{a}$$

- criteriul Nusselt (Nu):

$$Nu = \frac{\alpha l}{\lambda}$$

unde, pe lângă notațiile cunoscute s-a mai notat:

l [m] - în general diametrul hidraulic sau lungimea conductei (dimensiune caracteristică pentru schimbătoare de căldură);

g [m/s²] - accelerația gravitațională;

$\Delta t = t_p - t_f$ - diferența de temperatură dintre perete și fluid;

a [m²/s] - difuzivitatea termică a fluidului;

γ [K⁻¹] - coeficientul de dilatare volumică a fluidului; pentru gaze:

$$\gamma = \frac{1}{T_m} = \frac{1}{273,15 + t_m}$$

Se mai folosesc și următoarele criterii (definite pe baza criteriilor de mai sus):

- criteriul Stanton (St):

$$St = \frac{Nu}{Re Pr} = \frac{\alpha a}{\lambda w} = \frac{\alpha}{\rho c w}$$

- criteriul Colborn (j):

$$j = \frac{Nu}{Re Pr^{\frac{1}{3}}} = St Pr^{\frac{2}{3}}$$

S-a înlocuit $a = \lambda / \rho c$, unde c [J / kgK] reprezintă capacitatea termică masică, care în cazul gazelor reprezintă această mărime la presiune constantă, c_p [J / kgK].

În cercetarea experimentală a transmiterii energiei termice se urmărește determinarea coeficientului de convecție "a", care intră numai în expresiile criteriilor Nu, St sau j.

Ecuția criterială cea mai generală este sub forma:

$$Nu = f_1(Re, Pr, Gr)$$

$$St = f_2(Re, Pr, Gr)$$

sau

$$j = f(Re)$$

4.6. METODICA DE CERCETARE EXPERIMENTALĂ

Datorită complexității fenomenelor ce caracterizează funcționarea schimbătoarelor de căldură, multe procese ce se petrec pot fi studiate, evaluate și optimizate cu ajutorul experimentului.

Generalizarea rezultatelor unei experiențe este posibilă numai în cazul fenomenelor similare. În cazul nostru am pornit de la ideea studierii experimentale a unor modele construite pe baza teoriei similitudinii. Astfel, s-a construit un model de tub U (fig. 4.12), ale cărui dimensiuni sunt date în tabelul 4.1.

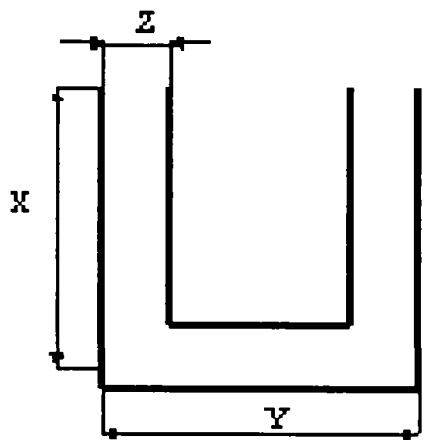


Fig. 4.12

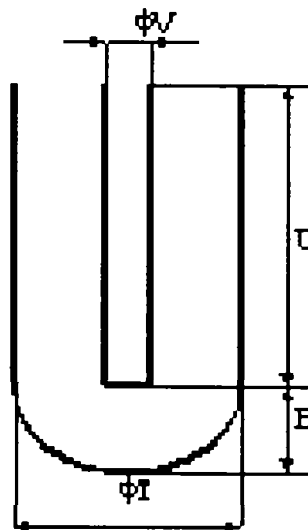


Fig. 4.13

Dimensiuni tub U

Tabelul 4.1

| Dimensiunea Nr. curent | X [mm] | Y[mm] | ϕT [mm] |
|---------------------------|--------|-------|---------------|
| 1 | 305 | 220 | 35 |

Dimensiuni tuburi Field

Tabelul 4.2

| Dimensiunea Nr. Curent | H[mm] | U[mm] | ϕV [mm] | ϕT [mm] | Observații |
|---------------------------|-------|-------|---------------|---------------|---|
| 1. | 6 | 420 | 19 | 50 | Lis |
| 2. | 6 | 420 | 30 | 50 | Lis |
| 3. | 6 | 420 | 40 | 50 | Is |
| 4. | 6 | 420 | 35 | 50 | Tubul central rugos în interior |
| 5. | 6 | 420 | 35 | 50 | Tubul central rugos în exterior |
| 6. | 6 | 420 | 35 | 50 | Tubul central rugos în interior și în exterior |
| 7. | 6 | 420 | 35 | 50 | Lis |
| 8. | 13 | 420 | 35 | 50 | Lis |
| 9. | 22 | 420 | 35 | 50 | Lis |
| 10. | 6 | 420 | 19 | 50 | Cu nervuri drepte pe exteriorul tubului central |

S-au construit modele de tuburi Field (fig. 4.13) în zece variante, prezentate în tabelul 4.2.

Pentru tuburile Field s-a păstrat diametrul tubului exterior (ϕ 50 mm) și lungimea (426 mm) constantă, variindu-se distanța h între capătul tubului interior și exterior ($h=6 ; 13 ; 22$ mm). Pentru tubul Field cu ϕ 35 s-au experimentat variantele cu rugozitate pe interior, pe exterior și pe interior – exterior. De asemenea, tubul interior a fost studiat în patru variante (ϕ 19, ϕ 30, ϕ 35, ϕ 40). Tubul Field ϕ 19 a fost studiat și în varianta cu nervuri drepte situate echidistant pe tubul interior (anexa D2).

Pentru studierea experimentală a acestor tuburi s-au folosit trei regimuri diferite. La primul regim s-a variat debitul \dot{m}_1 pe circuitul fluidului 1, menținându-se constante temperatura de intrare pe circuitul fluidului 1 și debitul \dot{m}_2 pe circuitul fluidului 2. La al doilea regim s-a variat debitul \dot{m}_2 de pe circuitul fluidului 2, menținându-se constante temperatura de intrare t_1' și debitul \dot{m}_1 de pe circuitul fluidului 1. Varierea debitelor \dot{m}_1 și \dot{m}_2 se face prin strangularea refulărilor cu ajutorul a două ventile. Temperatura t_1' a fost variată introducând în circuit un număr variabil din cele cinci rezistențe electrice care echipează preîncălzitorul de aer.

Punctele de măsură sunt dispuse conform figurii 4.2 astfel :

- pe circuitul primar (corespunzător fluidului 1) și secundar (corespunzător fluidului 2), după suflante, sunt montate două diafragme (7) și (19), cu punctele de măsurare a presiunii 4 și 5 înainte și după diafragma 7, respectiv punctele 8 și 9 pentru diafragma 19; presiunile diferențiale pe diafragmele (7) și (19) se măsoară cu un tester pneumatic tip “Intercal P”;

- pe circuitul primar se măsoară presiunea p_I^I (4) la intrare, respectiv p_I^{II} (5) la ieșirea din incinta schimbătorului, tot cu tester pneumatic tip “Intercal P”; temperatura t_1^I se măsoară, prin intermediul termocuplei 11, plasată la intrarea în incinta schimbătorului iar temperatura t_1^{II} (termocupla 12) la ieșirea din incinta schimbătorului, cu ajutorul unui aparat digital Micro Cal 2; termocuplele sunt de tip K ; temperaturile se măsoară în paralel și cu un aparat înregistrator; tot pe circuitul primar se măsoară presiunea p_1^I (15) la intrarea în schimbător și p_1^{II} (16) la ieșirea din schimbător.

- pe circuitul secundar se măsoară presiunile p_{II}^I (8) și p_{II}^{II} (9), temperatura t_2^{II} (termocupla 14) la intrarea în elementul schimbător de căldură și temperatura t_2^{II} (termocupla 13) la ieșirea din schimbător; tot pe circuitul secundar se măsoară presiunile p_2^I (18) la intrarea în element și p_2^{II} (17) la ieșirea din element.

CAPITOLUL 5

CERCETĂRI EXPERIMENTALE PRIVIND PERFORMANȚELE CONSTRUCTIV-FUNCȚIONALE ALE TUBURILOR FIELD

5.1. CALCULUL TERMIC AL SCHIMBĂTOARELOR DE CĂLDURĂ TUBULARE

În calculul termic al unui schimbător de căldură intervin nouă mărimi:

\dot{Q} [W] - fluxul de căldură transmis între cele două fluide

k [W/m²K] - coeficientul total de transfer termic

A [m²] - suprafața de transfer termic

\dot{C}_1, \dot{C}_2 [W/K], $\dot{C} = \dot{m}c$ - fluxul capacității totale, unde:

\dot{m} [kg/s] - este debitul de fluid și

c [J/kgK] - capacitatea masică a fluidului

t'_1, t'_2 - temperaturile de intrare ale celor două fluide

t''_1, t''_2 - temperaturile de ieșire ale celor două fluide

Acăste nouă mărimi sunt legate între ele prin trei relații de calcul

- fluxul de căldură cedat de fluidul cald:

$$\dot{Q}_1 = \dot{C}_1 (t'_1 - t''_1)$$

- fluxul de căldură primit de fluidul rece:

$$\dot{Q}_2 = \dot{C}_2 (t''_2 - t'_2)$$

- fluxul de căldură transmis între cele două fluide prin suprafața de schimb de căldură, exprimat cu ajutorul funcției ϕ

$$\dot{Q}_1 = \dot{C}_1 \phi (t'_1 - t'_2)$$

sau cu ajutorul diferenței medii de temperatură Δt_m .

$$\dot{Q} = k A \Delta t_m$$

În vederea efectuării calcului termic a unui schimbător de căldură trebuie să fie cunoscute (sau calculabile) inițial șase din cele nouă mărimi

Funcția ϕ este definită prin relația

$$\phi = \frac{t'_1 - t''_1}{t'_1 - t'_2}$$

și depinde de mărimile adimensionale:

$$\mu = \frac{\dot{C}_1}{\dot{C}_2} = \frac{t''_2 - t'_2}{t'_1 - t''_1} \leq 1$$

$$\chi = \frac{kA}{\dot{C}_1} = \frac{t'_1 - t''_1}{\Delta t_m}$$

Observație: Totdeauna se va alege drept fluid “unu” (t'_1, t''_1, \dot{C}_1) fluidul care are fluxul capacității totale \dot{C}_1 mai mic, astfel $\dot{C}_1 < \dot{C}_2$ și $0 < \mu < 1$.

Expresia analitică a ecuației anterioare:

$$\phi = f(\mu, \chi)$$

depinde de modul de curgere a celor două fluide prin aparat

- pentru curgerea celor două fluide în echicurent

$$\phi_e = \frac{1 - e^{-\chi(1+\mu)}}{1 + \mu}$$

- pentru curgerea celor două fluide în contracurent

$$\phi_c = \frac{1 - e^{-\chi(1-\mu)}}{1 - \mu e^{-\chi(1-\mu)}}$$

- pentru curent încrucișat cu ambele fluide neamestecate

$$\phi = \frac{\chi}{\frac{\chi}{1 - e^{-\chi}} + \frac{\mu\chi}{1 - e^{-\mu\chi}} - 1}$$

- pentru curent încrucișat; \dot{C}_1 - neamestecat, \dot{C}_2 - amestecat

$$\phi = \frac{1 - e^{-\mu(1 - e^{-\chi})}}{\mu}$$

- pentru curent încrucișat; \dot{C}_1 - amestecat, \dot{C}_2 - neamestecat

$$\phi = 1 - e^{-\frac{1}{\mu}(1 - e^{-\mu\chi})}$$

- pentru curent încrucișat, ambele fluide neamestecate, s-a putut găsi doar o relație de calcul aproximativă.

$$\phi = \frac{1}{\mu\chi} \sum_{n=0}^{\infty} \left\{ \left[1 - e^{-\chi} \sum_{m=0}^m \frac{\chi^m}{m!} \right] \left[1 - e^{-\chi\mu} \sum_{m=0}^n \frac{(\chi\mu)^m}{m!} \right] \right\}$$

- pentru schimbătoare de căldură cu fascicol de țevi în manta cu o singură trecere exterioară și două treceri interioare:

$$\phi = \frac{2}{1 + \mu + \frac{1 + e^{-\phi\chi}}{1 - e^{-\phi\chi}} \phi}; \quad \phi = \sqrt{1 + \mu^2}$$

- pentru orice mod de curgere în care

$$\phi = 1 - e^{-\chi}$$

Această ultimă situație ($\mu = 0$) are loc în schimbătoare de căldură în care unul din fluide se condensează sau se vaporizează, noțiunea de “capacitate termică masică” își pierde sensul ($\dot{C}_2 \rightarrow \infty$).

În general ecuațiile criteriale de mai sus se reprezintă grafic. Aceste grafice permit găsirea rapidă a uneia din mărimile μ, χ, ϕ , dacă se cunosc celelalte două.

Diferența medie de temperatură Δt_m se poate calcula cu ajutorul diferenței medii de temperatură pentru cazul curgerii în echicurent și contracurent.

Pentru celelalte tipuri de curgeri se calculează Δt_m pentru contracurent

$$\Delta t_{m_c} = \frac{(t_1' - t_2'') - (t_1'' - t_2')}{\ln \frac{t_1' - t_2''}{t_1'' - t_2'}}$$

care se înmulțește cu un coeficient de corecție "ε" subunitar.

$$\Delta t_m = \varepsilon \Delta t_{m_c}$$

Coeficientul "ε" indică înrăutățirea schimbului termic în schimbătorul dat, comparativ cu un schimbător în contracurent, care reprezintă soluția cea mai avantajoasă.

Acest coeficient poate fi calculat ca raportul între criteriul "χ_c" pentru curgerea fluidului în contracurent și criteriul "χ" pentru modul de curgere dat.

$$\varepsilon = \frac{\Delta t_m}{\Delta t_{m_c}} = \frac{\chi_c}{\chi} = f(\phi, \mu)$$

Utilizând această relație obținem

$$\Delta t_m = \frac{\phi}{\chi} (t_1' - t_2')$$

De obicei se neglijează fluxul de căldură Q_e - ce se pierde în mediul exterior și se consideră că:

$$\dot{Q}_1 = \dot{Q}_2 = \dot{Q}$$

5.2. POSIBILITĂȚI DE EVALUARE CANTITATIVĂ A TRANSFERULUI TERMIC UTILIZÂND FUNCȚII DE TIP Φ ȘI DOMENIILE DE UTILIZARE

Pentru determinarea funcției Φ s-a pornit de la schema de curgere și a rezultat ecuația criterială care se poate scrie sub forma:

$$\Phi = \frac{2}{1 + \mu + \frac{1 + e^{-\chi \sqrt{1 + \mu^2}}}{1 - e^{-\chi \sqrt{1 + \mu^2}}} \sqrt{1 + \mu^2}}$$

Făcând observația că A = μ și E = χ, rezultă următoarea schemă de determinare a lui Φ:

$$A = (t_2'' - t_2') / (t_1' - t_1'') = \mu$$

$$G = (A)^2 \Rightarrow G = ((t_2'' - t_2') / (t_1' - t_1''))^2 = \mu^2$$

$$D = (1 + G)^{(1/2)} \Rightarrow D = [1 + ((t_2'' - t_2') / (t_1' - t_1''))^2]^{(1/2)}$$

$$F = H * [((t_1'' - t_2') - (t_1' - t_2'')) / (\ln((t_1'' - t_2') / (t_1' - t_2'')))] \quad H = \Psi = 0,96$$

$$E = (t_1' - t_1'') / F \Rightarrow E = (t_1' - t_1'') / \{ H * [((t_1'' - t_2') - (t_1' - t_2'')) / (\ln((t_1'' - t_2') / (t_1' - t_2'')))] \}$$

$$C = 1 - \text{EXP}(-E * D)$$

$$B = 1 + \text{EXP}(-E \cdot D)$$

$$\Phi = \frac{2}{(1 + A + ((\frac{B}{C}) * D))} \Rightarrow \Phi = \frac{2}{(1 + A + ((\frac{B}{C}) * D)}$$

$$P = (t_2^{\text{II}} - t_2^{\text{I}}) / (t_1^{\text{I}} - t_2^{\text{I}})$$

$$R = (t_1^{\text{I}} - t_1^{\text{II}}) / (t_2^{\text{II}} - t_2^{\text{I}})$$

unde $\Psi(H)$ se alege din fig. 5.1, funcție de P și R ., ținând seama de temperatura medie t_m ;

DIFERENȚA MEDIE LOGARITMICĂ A TEMPERATURILOR

Valoarea mărimii Δt_m este funcție de schema de mișcare a gazelor. În practică se pot întâlni mai multe situații. Astfel, dacă în schimbător direcțiile curenților de aer sunt paralele, iar sensurile aceleași, schimbătorul lucrează în echicurent. Dacă sensurile sunt contrare, schimbătorul lucrează în contracurent.

În cazul când direcțiile curenților de aer se intersectează sub un unghi oarecare, schimbătorul lucrează după schema în curent încrucișat.

Diferența medie de temperatură în cazul circulației în contracurent și echicurent este:

$$\Delta T_m = \frac{\Delta T_{\max} - \Delta T_{\min}}{\ln \frac{\Delta T_{\max}}{\Delta T_{\min}}}$$

sau

$$\frac{\Delta T_m}{\Delta T_{\min}} = \frac{\frac{\Delta T_{\max}}{\Delta T_{\min}} - 1}{\ln \frac{\Delta T_{\max}}{\Delta T_{\min}}} = f\left(\frac{\Delta T_{\max}}{\Delta T_{\min}}\right)$$

Valorile relației de mai sus se pot grupa într-un tabel.

$$\Delta T_m = \frac{1}{2}(\Delta T_{\max} + \Delta T_{\min}) = \frac{T_1' + T_1''}{2} - \frac{T_2' + T_2''}{2}$$

Pentru schema de circulație a fluidelor în curent încrucișat,

$$\Delta T_m = \Psi \cdot \Delta T_{mc}$$

în care: ΔT_{mc} este diferența medie logaritmică de temperatură pentru curgerea în contracurent.

Ψ - coeficientul de corecție care depinde de schema de curgere, a cărei valoare se determină în funcție de parametrii P și R, definiți astfel:

$$P = \frac{T_2'' - T_2'}{T_1' - T_2'}$$

$$R = \frac{T_1' - T_1''}{T_2'' - T_2'}$$

Valoarea coeficientului de corecție Ψ în funcție de P și R, pentru cazul nostru, este indicată în figura de mai jos:

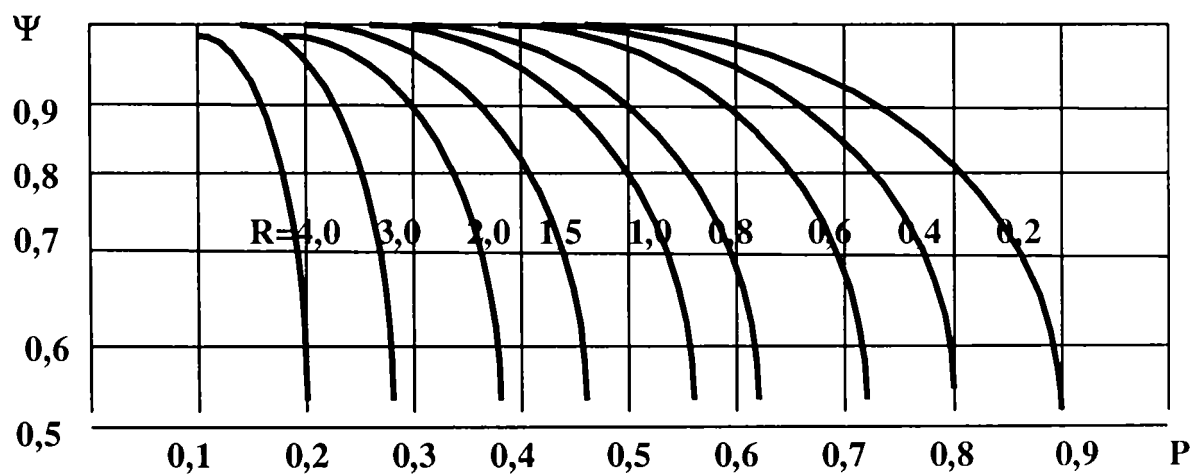
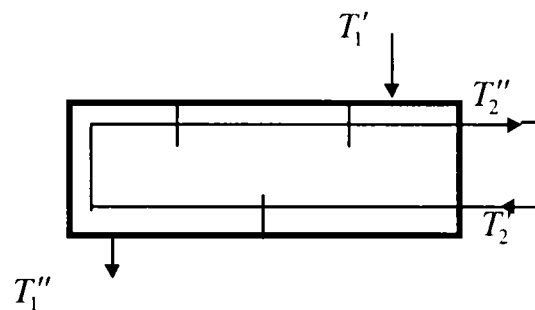


Fig. 5.1

5.3 DETERMINAREA COEFICIENTULUI DE CONVECȚIE TERMICĂ α_1

$$k_2 = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_2} + \frac{d_2}{2\lambda} \cdot \ln \frac{d_1}{d_2} + \frac{d_2}{\alpha_1 d_1}}$$

$$k_2 \cdot \frac{1}{\alpha_2} + k_2 \left(\frac{d_2}{2\lambda} \cdot \ln \frac{d_1}{d_2} + \frac{d_2}{\alpha_1} \right) = 1$$

$$\frac{k_2}{\alpha_2} = 1 - k_2 \left(\frac{d_2}{2\lambda} \cdot \ln \frac{d_1}{d_2} + \frac{d_2}{\alpha_1} \right)$$

$$k_2 = \alpha_2 \left[1 - k_2 \left(\frac{d_2}{2\lambda} \cdot \ln \frac{d_1}{d_2} + \frac{d_2}{\alpha_1} \right) \right]$$

$$\alpha_2 = \frac{k_2}{\left[1 - k_2 \left(\frac{d_2}{2\lambda} \cdot \ln \frac{d_1}{d_2} + \frac{d_2}{\alpha_1} \right) \right]}$$

$$Nu_d = 0,15 \cdot 1,15 \cdot Re^{0,33} \cdot Pr f_1^{0,43} \cdot Cr^{0,1} \cdot \left(\frac{Pr f_1}{Pr p} \right)^{0,25}$$

$Pr f_1$ – din tabela aer la t_m a aerului din exterior t_1

$Pr p$ – din tabela aer la t_m a peretelui

$$t_{mp} = \frac{t_1 + t_1'' + t_2 + t_2''}{4}$$

$t_{lmed} - t_{aer}$ în incintă

$$Cr = \frac{g \cdot d_1 (tp - t_{lmed}) \cdot \gamma}{\nu^2}$$

$$\gamma = \frac{1}{T_m}$$

$$T_m = 273 + t_{lmed}$$

$$Re = \frac{w_1 \cdot d_1}{\gamma_{aer}}$$

$$Nu_d = \frac{\alpha_1 \cdot d_1}{\lambda_{aer}} \Rightarrow \alpha_1 = \frac{Nu_d \cdot \lambda_{aer}}{d_1}$$

5.4. DETERMINAREA COEFICIENTULUI DE FRECARÉ c_f

Determinarea coeficientului de frecare pornind de la termenul rezistenței de frecare.

$$\Delta p = C_f \frac{A}{S_1} \frac{w^2 \rho}{2} \quad (1)$$

Dacă notăm cu d_e [m] diametrul echivalent, U [m²] – perimetrul udat și cu l [m] lungimea canalului de curgere putem scrie:

$$d_e = \frac{4S_e}{U} \quad (2)$$

$$\frac{d_e}{l} = \frac{4S_e}{A} \quad (3)$$

Dacă canalul schimbătorului de căldură are lungimea “l” pe care diametrul hidraulic “d” are aceeași valoare și secțiunea este constantă, pierderea liniară de presiune se calculează cu formula lui Darcy

$$\Delta p_f = \lambda \frac{\rho w^2}{2} \frac{l}{d} \quad [\text{N/m}^2] \quad (4)$$

unde:

λ - coeficientul de pierdere liniară

ρ [kg/m³] – masa specifică a fluidului pe porțiunea considerată

w [m/s] – viteza fluidului pe porțiunea considerată (viteza medie).

Și atunci relația (1) devine, utilizând relația (4)

$$\Delta p = 4c_f \frac{l}{d_e} \frac{w^2}{2} \rho \quad (5)$$

rezultă că $\lambda = 4c_f$

- coeficientul de rezistență la frecare, de partea aerului

$$c_f = \frac{d_{e_a}}{2L_a \rho_a} \frac{\Delta P_a}{w_a^2} \quad (6)$$

unde ΔP_a [N/m²] - căderea de presiune pe model de partea suprafeței nervurate, determinată experimental

L_a [m] - lungimea canalului de aer.

5.5. PRELUCRAREA DATELOR EXPERIMENTALE

Datele experimentale se prelucrează după algoritmul prezentat în tabelul 5.1 cu ajutorul programului de calcul tabelar Microsoft Excel (tabelul 5.2), după care s-a făcut transpunerea în tabelul 5.3.

Exemplu: tubul Field Φ 35 lis, m_2 variabil, $h = 6$ mm

| | | | |
|-------------|--------------------------|--|---|
| t1I | $t_1 [^{\circ}\text{C}]$ | temp. la intrarea în schimbător | |
| t1II | $t_1 [^{\circ}\text{C}]$ | temp. la iesire din schimbător | |
| p1I | [mm H ₂ O] | presiunea la intrare în schimbător | |
| p1II | [mm H ₂ O] | presiunea la ieșire din schimbător | |
| pII | [mm H ₂ O] | presiunea înainte de diafragmă | |
| pIII | [mm H ₂ O] | presiunea după diafragmă | |
| $\Delta p1$ | [N/m ²] | $\Delta p_a \cdot 9,80665$ | AB4*9,80665 |
| m1 | [Kg/s] | $m_1 = (\text{m prim a} : 3600) \cdot r_{o1}$ | (T4/3600)*AN4 |
| Q1 | [W] | $[(t_1'' - t_1') \cdot m_1] \cdot C_{m_a}$ | S4*1,098901 |
| t2I | [⁰ C] | temperatura la intrarea în tub | |
| t2II | [⁰ C] | temperatura la ieșirea din tub | |
| p2I | [mm H ₂ O] | presiunea la intrarea în tub | |
| p2II | [mm H ₂ O] | presiunea la ieșirea din tub | |
| pIII | [mm H ₂ O] | presiunea înainte de diafragmă | |
| pIIII | [mm H ₂ O] | presiunea după diafragmă | |
| $\Delta p2$ | [N/m ²] | $\Delta p_b \cdot 9,80665$ | AC4*9,80665 |
| m2 | [Kg/S] | $(\text{m prim b} : 3600) \cdot r_{o2}$ | (X4/3600)*AO4 |
| Q2 | [W] | $[(t_2'' - t_2') \cdot m_2] \cdot C_{m_b}$ | ((L4-K4)*R4)*AA4 |
| m_prim_a | [m ³ /h] | $\sqrt{pI' - pI''} \cdot 1,828$ | ((F4-G4)^(1/2))*1,828 |
| t_m_a | [⁰ C] | $[(t_1' + t_1'') : 2]$ | (B4+C4)/2 |
| ro_m_a | [Kg/m ³] | $(760 \cdot 133,3 + \Delta p_a \cdot 9,81) : [287 \cdot (273 + tm_a)]$ | ((760*133,3)+(AB4*9,81))/(287*(273+U4)) |
| c_m_a | [J/KgK] | capacitatea termică | |
| m_prim_b | [m ³ /h] | $\sqrt{pII' - pII''} \cdot 1,828$ | ((O4-P4)^(1/2))*1,828 |
| t_m_b | [⁰ C] | $[(t_2' + t_2'') : 2]$ | (L4+K4)/2 |
| ro_m_b | [Kg/m ³] | $(760 \cdot 133,3 + \Delta p_b \cdot 9,81) : [287 \cdot (273 + tm_b)]$ | ((760*133,3)+(AC4*9,81))/(287*(273+Y4)) |

| c_m_b | [J/KgK] | capacitatea termică | |
|----------|-----------------------|--|--|
| delta_pa | [mm H ₂ O] | $p'_1 - p''_1$ | D4-E4 |
| delta_pb | [mm H ₂ O] | $p'_2 - p''_2$ | M4-N4 |
| A | - | $(t''_2 - t'_2) : (t'_1 - t''_1)$ | $(L4-K4)/(B4-C4)$ |
| G | - | A^2 | $(AE4)^2$ |
| D | - | $\sqrt{I+G}$ | $(1+AF4)^{(1/2)}$ |
| F | - | $H \cdot ((t''_1 - t'_2) - (t'_1 - t''_2)) : \ln((t''_1 - t'_2)(t'_1 - t''_2))$ | $(AP4) \cdot ((C4-K4) - (B4-L4)) / (\ln(((C4-K4)/(B4-L4))))$ |
| E | - | $(t'_1 - t''_1) : F$ | $(B4-C4)/AH4$ |
| C | - | $1 - e^{-E \cdot D}$ | $1 - \text{EXP}(-AI4 \cdot AG4)$ |
| B | - | $1 + e^{-E \cdot D}$ | $1 + \text{EXP}(-AI4 \cdot AG4)$ |
| T | - | $2 : [1 + A + (B : C) D]$ | $2 / (1 + AE4 + ((AK4/AJ4) \cdot (AG4)))$ |
| ro_1 | [Kg/m ³] | $(760 \cdot 133,3) : [287 \cdot (273 + t'_2)]$ | $(760 \cdot 133,3) / (287 \cdot (273 + K4))$ |
| ro_2 | [Kg/m ³] | $(760 \cdot 133,3) : [287 \cdot (273 + t'_2)]$ | $(760 \cdot 133,3) / (287 \cdot (273 + K4))$ |
| H | - | | 0,96 |
| P | - | $(t''_2 - t'_2) : (t'_1 - t''_2)$ | $(L4-K4)/(B4-K4)$ |
| R | - | $(t'_1 - t''_1)(t''_2 - t'_2)$ | $(B4-C4)/(L4-K4)$ |
| W2 | [m/s] | $(W_{i2} + W_{2m}) : 2$ | AVERAGE(BL4:BM4) |
| S_prim | [m ²] | secțiunea tubului interior | Valori calculate |
| S_secund | [m ²] | secțiunea tubului | Valori calculate |
| Q_m | [W] | $(Q_1 + Q_2) : 2$ | $(J4+S4)/2$ |
| K2 | [W/m ² K] | $Q_m : (A \cdot \Delta t_m)$ | $AX4/(BC4 \cdot BB4)$ |
| Δt min | [°C] | $t''_1 - t'_2$ | C4-K4 |
| Δt max | [°C] | $t'_1 - t''_2$ | B4-L4 |
| Δt m | [°C] | $(\Delta t_{\max} - \Delta t_{\min}) : \ln(\frac{\Delta t_{\max}}{\Delta t_{\min}})$ | $(BA4-AZ4)/(\ln(BA4/AZ4))$ |
| A | [m ²] | $S_1 + S_2$ | BD4+BE4 |
| S1 | [m ²] | Supr. tubului interior | |

| S2 | [m ²] | Supr. tubului exterior | BG4/BH4 |
|-------------|----------------------|---|--|
| μ | - | $\dot{C}_1 : \dot{C}_2$ | I4*W4 |
| c1 | | $m_1 \cdot C_{ma}$ | R4*AA4 |
| c2 | | $m_2 \cdot C_{mb}$ | (AY4*BC4)/BG4 |
| χ | - | $(K_2 \cdot A) : \dot{C}_1$ | (AX4)/((BG4)*(B4-K4)) |
| Φ | - | $Q_m : [\dot{C}_1 \cdot (t_1 - t_2)]$ | R4/(AU4*Z4) |
| w_I_2 | [m/s] | $m_2 : (S \cdot \rho_{mb})$ | R4/(AV4*Z4) |
| W_2_in | [m/s] | $m_2 : (S \cdot \rho_{mb})$ | AY4/(1-(AY4*BU17)) P=BU17 |
| alfa_2 | [W/m ² K] | $K_2 : [1 - (K_2 \cdot P)]$ | 0,05 |
| d_1 | [m] | Diametrul exterior al tubului exterior | 0,048 |
| d_2 | [m] | Diametrul interior al tubului exterior | |
| lambda_alam | λ_{alam} | | |
| Lambda_aer | λ_{aer} | | |
| alfa_1 | [W/m ² K] | $(Nu_d \cdot v_{aer}) : d_1$ | (BX4*BV4)/BS4 |
| Nu_d | - | $0,15 \cdot 1,15 \cdot (Re^{0,33}) \cdot (Re^{0,43}) \cdot (Gr^{0,1}) \cdot [(Prf : Prp)^{0,25}]$ | $0,15 \cdot 1,15 \cdot (BY4^{0,33}) \cdot (BY4^{0,43}) \cdot (CC4^{0,1}) \cdot (BZ4/CA4)^{0,25}$ |
| Reynolds | - | $(w_1 \cdot d_1) : v$ | (CI4*BS4)/CG4 |
| Prf | - | | Din tabel |
| Prp | - | | Din tabel |
| Pr_simplu | - | | Din tabel |
| Grahsov | - | $[g \cdot d_1 \cdot \gamma \cdot (t_{ma} - t_{peate})] \cdot v^2$ | (CD4*BS4*CF4*(U4-CE4))/CG4^2 |
| g | [N] | 9,81 | |
| t_perete | [°C] | $(t_1 + t_1'' + t_2 + t_2'')/4$ | (B4+C4+K4+L4)/4 |
| Γ | - | 1/Tm | I/CH4 |

| | | | |
|-------------|-------------------|---|-----------------------------|
| N | - | v - la t _{ma} | Din tabel |
| T_mediu | [K] | 273 +t _{ma} | 273+U4 |
| W_1 | [m/s] | m ₁ : (ρ _{ma} · S _h) | I4/(V4*CK4) |
| d_hidraulic | [m] | $\sqrt{\frac{4S_h}{\pi}}$ | |
| S_hidraulic | [m ²] | [3,14 · dh ²] : 4 | (3,14*(CJ4^2))/4 |
| v a | - | v - la tub | |
| Rey | - | (Rei+R _{i,inel}) : 2 | AVERAGE(CQ4:CR4) |
| Rei | - | (W _{i2} · d _i) : v _a | (BL4*CS4)/CO4 |
| R_inel | [m] | (W _{2in} · d _h) : v _a | (BM4*CU4)/CO4 |
| d_I | [m] | d _i -diametrul tubului interior | |
| D_ext | [m] | d _{ext} -diametrul tubului interior | |
| D_h | [m] | D _{ext} -d _i | CT4-CS4 |
| d_e2m | [m] | (d _i +d _h):2 | AVERAGE(CS4;CU4) |
| l_I | [m] | Lungimea tubului interior | |
| l_inel | [m] | Lungimea tubului exterior | |
| L_canal | [m] | l_I+l_inel | SUM(CW4:CX4) |
| Cf_2m | - | (de2m · Δp ₂) : (2 · xx · w ₂ ² · ρ _{mb}) | (CV4*Q4)/(2*CY4*(AT4^2)*Z4) |
| Nusselt_a | - | (α ₂ · de2m) : λ _{aer} | (BR4*CV4)/BV4 |

Formulele de calcul pentru alfa 2

| | | |
|-----------|---|------------------------|
| a1 | d ₂ : (2 · v _{alana}) | BT4/(2*BU4) |
| a2 | ln(d ₁ : d ₂) | LN(BS4/BT4) |
| a3 | d ₂ (α ₁ · d ₁) | BT4/(BW4*BS4) |
| paranteza | d ₁ · d ₂ + d ₃ | (BR17*BS17)+BT17 =BU17 |

| | A | B | C | D | E | F | G | H | I | J | K | L | M |
|----|------|-------|------|------|------|------|----------|----------|--------|------|------|------|-----|
| | III | IIII | II | IIII | II | II | IIII | OpI | mI | QI | t2I | t2II | p2I |
| 1. | 60,6 | 56,96 | 22,5 | 6,6 | 74,9 | 56,1 | 155,257 | 0,00258 | 9,479 | 28,2 | 40 | 74,3 | |
| 2. | 62 | 56,29 | 22,8 | 6,6 | 74,9 | 56,1 | 158,8677 | 0,002579 | 14,872 | 28,4 | 41,5 | 73,4 | |
| 3. | 62,4 | 54,98 | 22,4 | 6,6 | 74,9 | 56,1 | 154,451 | 0,00258 | 19,340 | 28,2 | 42,1 | 70,3 | |
| 4. | 62,8 | 54,11 | 22,4 | 6,7 | 74,9 | 56,1 | 153,9644 | 0,002573 | 22,593 | 29 | 43,1 | 68,2 | |
| 5. | 64,6 | 54,33 | 22,5 | 6,4 | 74,9 | 56,1 | 157,871 | 0,002576 | 26,717 | 28,7 | 43,5 | 65,9 | |
| 6. | 65,2 | 53,72 | 22,2 | 6,2 | 74,9 | 56,1 | 156,9064 | 0,002576 | 29,860 | 28,7 | 43,9 | 63,5 | |
| 7 | 64,2 | 51,83 | 22,3 | 6,4 | 74,9 | 56,1 | 155,9257 | 0,002574 | 32,171 | 28,9 | 44 | 60,7 | |
| 8. | 64,1 | 50,50 | 22,2 | 6,3 | 74,9 | 56,1 | 155,9257 | 0,002576 | 35,386 | 28,7 | 44,3 | 58,9 | |
| 9 | 64,7 | 50,18 | 22,1 | 6,5 | 74,9 | 56,1 | 152,9837 | 0,002576 | 37,773 | 28,7 | 44,4 | 56,2 | |

| | N | O | P | Q | R | S | T | U | V | W | X | Y | Z |
|---|------|------|-------|---------|---------|--------|----------|----------|----------|-------|----------|-------|----------|
| | p2II | pIII | pIIII | Op2 | m2 | Q2 | mPrim_a | t_m_a | ro_m_a | e_m_a | mPrim_b | t_m_b | ro_m_b |
| 1 | 69,5 | 77,3 | 75,8 | 47,072 | 0,00073 | 8,626 | 7,926019 | 58,78132 | 1,06556 | 1010 | 2,238834 | 34,1 | 1,149963 |
| 2 | 65,2 | 77,3 | 74,3 | 80,415 | 0,00103 | 13,534 | 7,926019 | 59,14464 | 1,064426 | 1010 | 3,166189 | 34,95 | 1,147166 |
| 3 | 56,9 | 77,4 | 72,9 | 131,409 | 0,00126 | 17,600 | 7,926019 | 58,68935 | 1,065846 | 1010 | 3,877774 | 35,15 | 1,146998 |
| 4 | 50,2 | 77,3 | 71,3 | 176,520 | 0,00145 | 20,560 | 7,926019 | 58,45366 | 1,066593 | 1010 | 4,477667 | 36,05 | 1,144167 |
| 5 | 43,6 | 77,4 | 69,8 | 218,688 | 0,00164 | 24,313 | 7,926019 | 59,46551 | 1,063388 | 1010 | 5,039448 | 36,1 | 1,144457 |
| 6 | 36,7 | 77,3 | 68,3 | 262,818 | 0,00178 | 27,172 | 7,926019 | 59,46156 | 1,06339 | 1010 | 5,484 | 36,3 | 1,144215 |
| 7 | 28,6 | 77,4 | 66,8 | 314,793 | 0,00193 | 29,275 | 7,926019 | 58,0133 | 1,068033 | 1010 | 5,951537 | 36,45 | 1,144245 |
| 8 | 23,5 | 77,3 | 65,3 | 347,155 | 0,00206 | 32,202 | 7,926019 | 57,29944 | 1,070341 | 1010 | 6,332378 | 36,5 | 1,144425 |
| 9 | 15,8 | 77,3 | 63,8 | 396,189 | 0,00218 | 34,374 | 7,926019 | 57,44068 | 1,069852 | 1010 | 6,716501 | 36,55 | 1,144792 |

| | AA | AB | AC | AD | AE | AF | AG | AH | AI | AJ | AK | AL | AM |
|---|-------|----------|----------|--------|---------|--------|---------|--------|--------|--------|--------|----|----|
| 2 | | | | | | | | | | | | | |
| 3 | c_m_b | delta_pa | delta_pb | A | G | D | F | E | C | B | T | | |
| 4 | 1003 | 15,9 | 4,8 | 3,2441 | 10,5242 | 3,3947 | 23,765 | 0,1549 | 0,4090 | 1,5910 | 0,1146 | | |
| 5 | 1003 | 16,2 | 8,2 | 2,2939 | 5,2621 | 2,5024 | 23,0452 | 0,2478 | 0,4621 | 1,5379 | 0,1721 | | |
| 6 | 1003 | 15,8 | 13,4 | 1,8730 | 3,5081 | 2,1232 | 22,544 | 0,3305 | 0,5043 | 1,4957 | 0,2181 | | |
| 7 | 1003 | 15,7 | 18 | 1,6221 | 2,6311 | 1,9055 | 21,027 | 0,4061 | 0,5388 | 1,4612 | 0,2567 | | |
| 8 | 1003 | 16,1 | 22,3 | 1,4412 | 2,0772 | 1,7542 | 22,3604 | 0,4592 | 0,5532 | 1,4468 | 0,2845 | | |
| 9 | 1003 | 16 | 26,8 | 1,3244 | 1,7540 | 1,6595 | 22,1871 | 0,5173 | 0,5762 | 1,4238 | 0,3113 | | |
| 0 | 1003 | 15,9 | 32,1 | 1,2204 | 1,4893 | 1,5777 | 20,732 | 0,5985 | 0,6111 | 1,3889 | 0,3444 | | |
| 1 | 1003 | 15,9 | 35,4 | 1,1470 | 1,3155 | 1,5217 | 19,9521 | 0,6817 | 0,6456 | 1,3544 | 0,3746 | | |
| 2 | 1003 | 15,6 | 40,4 | 1,0814 | 1,1694 | 1,4729 | 20,0497 | 0,7241 | 0,6558 | 1,3442 | 0,3921 | | |

| | AN | AO | AP | AC | AR | AS | AT | AU | AV | AW | AX | AY |
|----|------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----|----|----|----|
| 2 | | | | | | | | | | | | |
| 3 | H | P | R | W2 | S_prim | S_second | C_m | K2 | | | | |
| 4 | 0,96 | 0,364128 | 0,308251 | 0,646161 | 0,000961 | 0,001001 | 9,052553 | 3,27474 | | | | |
| 5 | 0,96 | 0,289581 | 0,425933 | 0,915429 | 0,000961 | 0,001001 | 14,20323 | 5,23415 | | | | |
| 6 | 0,96 | 0,406432 | 0,533907 | 1,122076 | 0,000961 | 0,001001 | 18,4699 | 6,985576 | | | | |
| 7 | 0,96 | 0,41716 | 0,616502 | 1,295427 | 0,000961 | 0,001001 | 21,57676 | 8,561638 | | | | |
| 8 | 0,96 | 0,41256 | 0,693851 | 1,459034 | 0,000961 | 0,001001 | 25,51477 | 9,690604 | | | | |
| 9 | 0,96 | 0,416438 | 0,755058 | 1,588079 | 0,000961 | 0,001001 | 28,51596 | 10,91505 | | | | |
| 10 | 0,96 | 0,427762 | 0,819421 | 1,722282 | 0,000961 | 0,001001 | 30,72311 | 12,62111 | | | | |
| 11 | 0,96 | 0,440678 | 0,871866 | 1,833418 | 0,000961 | 0,001001 | 33,7939 | 14,38431 | | | | |
| 12 | 0,96 | 0,456111 | 0,934754 | 1,94401 | 0,000961 | 0,001001 | 36,07361 | 15,2799 | | | | |
| 13 | | | | | | | | | | | | |
| 14 | | | | | | | | | | | | |

| Name Box | BA | BB | BC | BD | BE | BF | BG | BH | BI | BJ | BK | BL |
|----------|--------|----------|---------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----|------------------|
| | 45 | 46 | 47 | 48 | 49 | 50 | 51 | 52 | 53 | 54 | 55 | |
| | Δt max | Δt m | A | S1 | S2 | μ | c1 | c2 | X | φ | h | w _{J,2} |
| 28,76 | 20,6 | 24,45469 | 0,11304 | 0,046158 | 0,066882 | 3,564952 | 2,606039 | 0,731016 | 0,142046 | 0,107212 | | 0,639232 |
| 27,89 | 20,5 | 24,00539 | 0,11304 | 0,046158 | 0,066882 | 2,520802 | 2,604309 | 1,033127 | 0,227188 | 0,162314 | | 0,933947 |
| 26,78 | 20,3 | 23,39 | 0,11304 | 0,046158 | 0,066882 | 2,038226 | 2,606039 | 1,266158 | 0,303008 | 0,207232 | | 1,144774 |
| 25,11 | 19,7 | 22,29447 | 0,11304 | 0,046158 | 0,066882 | 1,782476 | 2,599135 | 1,45816 | 0,372358 | 0,245607 | | 1,321632 |
| 25,63 | 21,1 | 23,2921 | 0,11304 | 0,046158 | 0,066882 | 1,583772 | 2,60172 | 1,642737 | 0,421039 | 0,273172 | | 1,488549 |
| 25,02 | 21,3 | 23,1116 | 0,11304 | 0,046158 | 0,066882 | 1,455386 | 2,60172 | 1,78765 | 0,474239 | 0,300286 | | 1,620205 |
| 22,93 | 20,2 | 21,53454 | 0,11304 | 0,046158 | 0,066882 | 1,341055 | 2,599996 | 1,93877 | 0,548728 | 0,334748 | | 1,757122 |
| 21,80 | 19,8 | 20,78343 | 0,11304 | 0,046158 | 0,066882 | 1,260401 | 2,60172 | 2,0642 | 0,624972 | 0,366923 | | 1,870507 |
| 21,48 | 20,3 | 20,88511 | 0,11304 | 0,046158 | 0,066882 | 1,188317 | 2,60172 | 2,189415 | 0,663884 | 0,385147 | | 1,983336 |

| BM | BN | BO | BP | EQ | EA | BS | BT | BU | BV | BW | BX |
|----|----------|----|----|----|------------|----------|----------|--------------|-----------------|-----------|----------|
| | | | | | alfa_2 | d_1 | d_2 | lambda_alain | lambda_ser | alfa_1 | Nu_d |
| 1 | 0,633089 | | | | 3,62,11028 | 0,05 | 0,048 | 79,4 | 0,02645 | 32,209096 | 60,88676 |
| 2 | 0,896911 | | | | 6,1539105 | 0,05 | 0,048 | 79,4 | 0,02773 | 33,634232 | 60,64593 |
| 3 | 1,099377 | | | | 8,7710261 | 0,05 | 0,048 | 79,4 | 0,02852 | 32,957938 | 57,7804 |
| 4 | 1,269221 | | | | 11,463929 | 0,05 | 0,048 | 79,4 | 0,0287 | 32,478938 | 56,58352 |
| 5 | 1,429519 | | | | 13,649072 | 0,05 | 0,048 | 79,4 | 0,0291 | 32,090545 | 55,13839 |
| 6 | 1,555953 | | | | 16,138896 | 0,05 | 0,048 | 79,4 | 0,0298 | 32,386312 | 54,33945 |
| 7 | 1,687441 | | | | 20,233997 | 0,05 | 0,048 | 79,4 | 0,0303 | 32,216673 | 53,16283 |
| 8 | 1,79633 | | | | 25,391764 | 0,05 | 0,048 | 79,4 | 0,0307 | 31,867219 | 51,90101 |
| 9 | 1,904684 | | | | 28,136378 | 0,05 | 0,048 | 79,4 | 0,0312 | 32,115703 | 51,46747 |
| 0 | | | | | alfa | a2 | a3 | paranteza | alfa_2 calculat | alfafel | |
| 1 | | | | | 0,0003023 | 0,040822 | 0,029805 | 0,02981758 | 3,6291028 | | |
| 2 | | | | | 0,0003023 | 0,040822 | 0,028542 | 0,02855469 | 6,1539105 | | |
| 3 | | | | | 0,0003023 | 0,040822 | 0,029128 | 0,02914038 | 8,7710261 | | |
| 4 | | | | | 0,0003023 | 0,040822 | 0,029558 | 0,02956996 | 11,463929 | | |
| 5 | | | | | 0,0003023 | 0,040822 | 0,029915 | 0,02992769 | 13,649072 | | |
| 6 | | | | | 0,0003023 | 0,040822 | 0,029642 | 0,02965449 | 16,138896 | | |
| 7 | | | | | 0,0003023 | 0,040822 | 0,029792 | 0,02981057 | 20,233997 | | |
| 8 | | | | | 0,0003023 | 0,040822 | 0,030125 | 0,03013734 | 25,391764 | | |
| 9 | | | | | 0,0003023 | 0,040822 | 0,029892 | 0,02990426 | 28,136378 | | |

| BY | BZ | CA | CB | CC | CD | CE | CF | CG | CH | CI | CJ | CK |
|----------|--------|--------|-----------|----------|------|----------|----------|----------|----------|----------|------------|------------|
| Reynolds | Prf | Prp | Pr simplu | Grasov | g | t_porete | γ | v | T_medu | W_1 | d_hidrolic | S_hidrolic |
| 218,2729 | 0,6954 | 0,698 | 0,6996 | 50697993 | 9,81 | 46,44066 | 0,003014 | 1,9E-05 | 331,7813 | 0,082213 | 0,193 | 0,0292405 |
| 217,9011 | 0,694 | 0,697 | 0,6996 | 49435243 | 9,81 | 47,04732 | 0,003011 | 1,9E-05 | 332,1446 | 0,082246 | 0,193 | 0,0292405 |
| 207,8077 | 0,6927 | 0,6968 | 0,6996 | 43862486 | 9,81 | 46,91967 | 0,003015 | 1,99E-05 | 331,6893 | 0,082791 | 0,193 | 0,0292405 |
| 204,2411 | 0,692 | 0,6964 | 0,6996 | 40625843 | 9,81 | 47,25183 | 0,003017 | 2,02E-05 | 331,4537 | 0,082513 | 0,193 | 0,0292405 |
| 198,1923 | 0,6915 | 0,6962 | 0,6996 | 39458905 | 9,81 | 47,78275 | 0,003008 | 2,09E-05 | 332,4655 | 0,082244 | 0,193 | 0,0292405 |
| 195,3873 | 0,6912 | 0,696 | 0,6996 | 38015755 | 9,81 | 47,88078 | 0,003008 | 2,12E-05 | 332,4616 | 0,082244 | 0,193 | 0,0292405 |
| 192,1433 | 0,6908 | 0,6959 | 0,6996 | 34723556 | 9,81 | 47,23165 | 0,003021 | 2,15E-05 | 331,0133 | 0,082429 | 0,193 | 0,0292405 |
| 187,9996 | 0,6907 | 0,6958 | 0,6996 | 32230079 | 9,81 | 46,89972 | 0,003028 | 2,19E-05 | 330,2994 | 0,082306 | 0,193 | 0,0292405 |
| 186,2982 | 0,6906 | 0,6956 | 0,6996 | 31745605 | 9,81 | 46,99534 | 0,003026 | 2,21E-05 | 330,4407 | 0,082344 | 0,193 | 0,0292405 |

| Font | CL | CM | CN | CO | CP | CQ | CR | CS | CT | CU | CV | CW | CX | CY | CZ | DA | DE |
|------|----|----|----|----------|----------|----------|----------|-------|-------|-------|-------|------|--------|---------|----------|-----------|----|
| | | | | v_a | Rey | Rei | R_inel | d_l | D_ext | D_h | d_e2m | l_l | l_inel | L_panel | Cf_2m | Nusselt_a | |
| 2 | | | | 1,65E-05 | 989,9531 | 1402,621 | 577,285 | 0,035 | 0,05 | 0,015 | 0,025 | 0,42 | 0,426 | 0,846 | 1,448561 | 3,430154 | |
| 3 | | | | 1,65E-05 | 1402,487 | 1987,122 | 817,8515 | 0,035 | 0,05 | 0,015 | 0,025 | 0,42 | 0,426 | 0,846 | 1,235943 | 5,548062 | |
| 4 | | | | 1,65E-05 | 1719,081 | 2435,69 | 1002,471 | 0,035 | 0,05 | 0,015 | 0,025 | 0,42 | 0,426 | 0,846 | 1,344492 | 7,688487 | |
| 5 | | | | 1,65E-05 | 1984,664 | 2811,984 | 1157,345 | 0,035 | 0,05 | 0,015 | 0,025 | 0,42 | 0,426 | 0,846 | 1,358365 | 9,986001 | |
| 6 | | | | 1,65E-05 | 2235,32 | 3167,126 | 1303,513 | 0,035 | 0,05 | 0,015 | 0,025 | 0,42 | 0,426 | 0,846 | 1,326278 | 11,72601 | |
| 7 | | | | 1,65E-05 | 2433,023 | 3447,244 | 1418,802 | 0,035 | 0,05 | 0,015 | 0,025 | 0,42 | 0,426 | 0,846 | 1,345685 | 13,53934 | |
| 8 | | | | 1,65E-05 | 2632,629 | 3738,558 | 1538,7 | 0,035 | 0,05 | 0,015 | 0,025 | 0,42 | 0,426 | 0,846 | 1,370369 | 16,69472 | |
| 9 | | | | 1,65E-05 | 2802,896 | 3979,802 | 1637,991 | 0,035 | 0,05 | 0,015 | 0,025 | 0,42 | 0,426 | 0,846 | 1,333377 | 20,67733 | |
| 0 | | | | 1,65E-05 | 2972,329 | 4219,864 | 1736,794 | 0,035 | 0,05 | 0,015 | 0,025 | 0,42 | 0,426 | 0,846 | 1,353063 | 22,54517 | |
| 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4 | | | | | | | | | | | | | | | | | |

| Nr. crt | Mărimi măsurate | | | | | | | | | |
|---------|---------------------------|-------------|---------------|----------------------------------|---------------|---------------------------|---------------|----------------------------------|--|--|
| | Proprietățile fluidului I | | | | | Proprietățile fluidului 2 | | | | |
| | m_1 kg/s | t_1 °C | t_1'' °C | Δp_1 N/m ² | m_2 kg/s | t_2 °C | t_2'' °C | Δp_2 N/m ² | | |
| 1 | 0,00258 | 60,6 | 56,9626 | 155,926 | 0,00073 | 28,2 | 40 | 47,072 | | |
| 2 | 0,00258 | 62 | 56,2893 | 158,868 | 0,00103 | 28,4 | 41,5 | 80,415 | | |
| 3 | 0,00258 | 62,4 | 54,9787 | 154,945 | 0,00126 | 28,2 | 42,1 | 131,409 | | |
| 4 | 0,00257 | 62,8 | 54,1073 | 153,964 | 0,00145 | 29 | 43,1 | 176,520 | | |
| 5 | 0,00258 | 64,6 | 54,331 | 157,887 | 0,00164 | 28,7 | 43,5 | 218,688 | | |
| 6 | 0,00258 | 65,2 | 53,7231 | 156,906 | 0,00178 | 28,7 | 43,9 | 262,818 | | |
| 7 | 0,00257 | 64,2 | 51,8266 | 155,926 | 0,00193 | 28,9 | 44 | 314,793 | | |
| 8 | 0,00258 | 64,1 | 50,4989 | 155,926 | 0,00206 | 28,7 | 44,3 | 347,155 | | |
| 9 | 0,00258 | 64,7 | 50,1814 | 152,984 | 0,00218 | 28,7 | 44,4 | 396,189 | | |

| Nr. crt | Mărimi calculate | | | | | | | | | |
|---------|------------------|------------|------------|-----------------------------|---------|---------|---------|-------------------|--------------------|---------|
| | Q_1 W | Q_2 W | Q_m W | k_2 W/m ² K | Φ | μ | χ | W_{zint} m/s | W_{zinel} m/s | |
| | 1 | 9,479 | 8,626 | 9,05255 | 3,27474 | 0,10721 | 3,56495 | 0,14205 | 0,65923 | 0,63309 |
| 2 | 14,872 | 13,534 | 14,2032 | 5,23415 | 0,16231 | 2,5208 | 0,22719 | 0,93395 | 0,89691 | |
| 3 | 19,340 | 17,600 | 18,4699 | 6,98558 | 0,20723 | 2,05823 | 0,30301 | 1,14477 | 1,09938 | |
| 4 | 22,593 | 20,560 | 21,5768 | 8,56164 | 0,24561 | 1,78248 | 0,37236 | 1,32163 | 1,26922 | |
| 5 | 26,717 | 24,313 | 25,5148 | 9,6906 | 0,27317 | 1,58377 | 0,42104 | 1,48855 | 1,42952 | |
| 6 | 29,860 | 27,172 | 28,516 | 10,9151 | 0,30029 | 1,45539 | 0,47424 | 1,6202 | 1,55595 | |
| 7 | 32,171 | 29,275 | 30,7231 | 12,6211 | 0,33475 | 1,34105 | 0,54873 | 1,75712 | 1,68744 | |
| 8 | 35,386 | 32,202 | 33,7939 | 14,3843 | 0,36692 | 1,2604 | 0,62497 | 1,87051 | 1,79633 | |
| 9 | 37,773 | 34,374 | 36,0736 | 15,2799 | 0,38515 | 1,18832 | 0,66388 | 1,98334 | 1,90468 | |

| Nr. crt | Mărimi calculate pentru generalizarea rezultatelor | | | | | | | | | | |
|---------|--|------------|----------------|----------------------------------|--------------|------------|---------------|------------|----------------------------------|---------|---------|
| | w_1 m/s | d_1 m | $Re_{incintă}$ | α_1 W/m ² K | w_2 m/s | Re_{z_1} | $Re_{z_{in}}$ | Re_{z_m} | α_2 W/m ² K | Cf | Nu |
| | 1 | 0,08281 | 0,193 | 218,273 | 32,2091 | 0,64616 | 989,953 | 1402,62 | 577,285 | 3,6291 | 1,44856 |
| 2 | 0,08285 | 0,193 | 217,901 | 33,6342 | 0,91543 | 1402,49 | 1987,12 | 817,852 | 6,15391 | 1,23594 | 5,54806 |
| 3 | 0,08279 | 0,193 | 207,808 | 32,9579 | 1,12208 | 1719,08 | 2435,69 | 1002,47 | 8,77103 | 1,34449 | 7,68849 |
| 4 | 0,08251 | 0,193 | 204,241 | 32,4789 | 1,29543 | 1984,66 | 2811,98 | 1157,34 | 11,4639 | 1,35837 | 9,986 |
| 5 | 0,08284 | 0,193 | 198,192 | 32,0905 | 1,45903 | 2235,32 | 3167,13 | 1303,51 | 13,6491 | 1,32628 | 11,726 |
| 6 | 0,08284 | 0,193 | 195,387 | 32,3863 | 1,58808 | 2433,02 | 3447,24 | 1418,8 | 16,1389 | 1,34569 | 13,5393 |
| 7 | 0,08243 | 0,193 | 192,143 | 32,2167 | 1,72228 | 2638,63 | 3738,56 | 1538,7 | 20,234 | 1,37037 | 16,6947 |
| 8 | 0,08231 | 0,193 | 188 | 31,8672 | 1,83342 | 2808,9 | 3979,8 | 1637,99 | 25,3918 | 1,33338 | 20,6773 |
| 9 | 0,08234 | 0,193 | 186,298 | 32,1157 | 1,94401 | 2978,33 | 4219,86 | 1736,79 | 28,1364 | 1,35306 | 22,5452 |

5.6. ERORILE DE MĂSURARE ȘI PROPAGAREA LOR

În cazul efectuării unei măsurări, rezultatul acesteia poate fi considerat ca exact numai când coincide cu valoarea reală a mărimii măsurate.

Rezultatul unei măsurări, care este reprezentat de o valoare măsurată sau este calculat pe baza mai multor valori măsurate, se abate întotdeauna, mai mult sau mai puțin, de valoarea reală a mărimii măsurate, pentru că erorile sunt inevitabile unei măsurări.

Se știe că erorile pot fi:

- erori sistematice ale metodei de măsurare și ale instalației de măsurat;
- erorile aparatului;
- influența mediului înconjurător;
- erori de citire, etc.

Erorile de citire sunt erori întâmplătoare. Ele sunt erori subiective și iau naștere în procesul citirii unei valori măsurate de către un observator.

Dacă mărimile afectate de erori se adună sau se scad, atunci erorile sistematice " δ_m " se adună respectiv se scad, în timp ce erorile întâmplătoare " Δ_m " se adună după o relație pătratică de forma:

$$\Delta_x = \sqrt{\Delta m_1^2 + \Delta m_2^2 + \dots + \Delta m_n^2}$$

Dacă x rezultă ca un produs al unor mărimi afectate de erori, eroarea relativă va fi:

$$\frac{\Delta x}{x} = \sqrt{\left(\frac{\Delta m_1}{m_1}\right)^2 + \left(\frac{\Delta m_2}{m_2}\right)^2 + \dots + \left(\frac{\Delta m_n}{m_n}\right)^2}$$

iar eroarea sistematică relativă $\delta x / x$ va fi:

$$\frac{\delta x}{x} = \frac{\delta m_1}{m_1} + \frac{\delta m_2}{m_2} + \dots + \frac{\delta m_n}{m_n}$$

Dacă " x " se obține din raportul a două produse de forma:

$$x = \frac{m_1 \cdot m_2 \cdot \dots \cdot m_n}{n_1 \cdot n_2 \cdot \dots \cdot n_p}$$

Se obțin erorile finale relative de forma:

$$\frac{\delta x}{x} = \left(\frac{\delta m_1}{m_1} + \frac{\delta m_2}{m_2} + \dots + \frac{\delta m_n}{m_n}\right) - \left(\frac{\delta n_1}{n_1} + \frac{\delta n_2}{n_2} + \dots + \frac{\delta n_p}{n_p}\right)$$

respectiv

$$\frac{\Delta x}{x} = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left(\frac{\Delta m_i}{m_i}\right)^2 + \sum_{j=1}^p \left(\frac{\Delta n_j}{n_j}\right)^2}$$

În cazul unei mărimi determinate prin calcul, pe baza altor mărimi măsurate direct, eroarea funcției depinde de erorile variabilelor respective.

Se poate demonstra că eroarea probabilă a unei funcții de mai multe variabile

$$f = f(x, y, z, \dots)$$

are forma: -

$$\Delta f = \sqrt{\left(\frac{\delta f}{\delta x}\right)^2 \Delta x^2 + \left(\frac{\delta f}{\delta y}\right)^2 \Delta y^2 + \dots}$$

unde Δf este eroarea probabilă a funcției, iar Δx , Δy , ... sunt erorile variabilelor.

STUDIUL PROPAGĂRII ERORILOR LA MĂSURĂTORI DE MARE PRECIZIE

Pentru a exemplifica modul de propagare a erorilor, luăm spre analiză debitul m_2 .

Pentru un tub $\Phi 30$ cu $h = 6$ m:

$$m = \alpha \cdot \varepsilon \cdot k_t \cdot A \cdot \sqrt{2\rho\Delta p} \quad (1)$$

sau

$$m^1 = 1,828 \cdot \sqrt{\Delta p} \quad (2)$$

unde: $\Delta p = p^I_{II} - p^{II}_{II}$ este căderea de presiune activă pe diafragmă.

Logaritmăm ecuația (1) și obținem:

$$\ln m = \ln \alpha + \ln \varepsilon + \ln k_t + \ln A + \frac{1}{2} \ln 2 + \frac{1}{2} \ln \rho + \frac{1}{2} \ln(\Delta p) \quad (3)$$

α , ε , k_t , 2 – sunt constante, deci:

$$\frac{dm}{m} = \frac{d\alpha}{\alpha} + \frac{d\varepsilon}{\varepsilon} + \frac{dk_t}{k_t} + \frac{dA}{A} + \frac{1}{2} \frac{d\rho}{\rho} + \frac{1}{2} \frac{d\Delta p}{\Delta p} \quad (4)$$

Cu cantități finite mici relația (4) devine:

$$\frac{\Delta m}{m} = \frac{\Delta A}{A} + \frac{1}{2} \frac{\Delta \rho}{\rho} + \frac{1}{2} \frac{\Delta(\Delta p)}{\Delta p} \quad (5)$$

Având în vedere că $A = \frac{\pi d^2}{4}$ și Δp rezultă din p^I_{II} și p^{II}_{II} măsurate separat, relația 5 devine:

$$\frac{\Delta m}{m} = 2 \frac{\Delta d}{d} + \frac{1}{2} \frac{\Delta \rho}{\rho} + 2 \frac{1}{2} \frac{\Delta p}{p} \quad (6)$$

Întrucât la măsurătorile practice s-a folosit relația (2), rezultată dintr-un calcul de proiectare al diafragmei, rezultă că:

$$\frac{\Delta m}{m} = 2 \frac{\Delta d}{d} + \frac{1}{2} \frac{\Delta \rho}{\rho} + \frac{\Delta p}{p} \quad (7)$$

sau eroarea întâmplătoare relativă devine:

$$\frac{\Delta m}{m} = \pm \sqrt{4\left(\frac{\Delta d}{d}\right)^2 + \left(\frac{\Delta p}{p}\right)^2} \quad (8)$$

unde d s-a măsurat cu un șubler cu clasa de precizie 0,1. Atunci:

$$\frac{\Delta d}{d} = \sqrt{\left(\frac{\Delta d_1}{d}\right)^2 + \left(\frac{\Delta d_2}{d}\right)^2} \quad (9)$$

$$\frac{\Delta d}{d} = \sqrt{\left(\frac{0,1}{100} \cdot 16\right)^2 + \left(\frac{1}{2} \cdot \frac{0,1}{16}\right)^2} \cdot 100 = 0,003 \cdot 100 = 0,3\%$$

Eroarea absolută Δd va fi:

$$\Delta d = \frac{0,3}{100} \cdot 16 = 0,048$$

deci $d = 16 \pm 0,048$

Eroarea relativă procentuală va fi:

$$\frac{\Delta d}{d} = 0,3\%$$

$$\frac{\Delta(\Delta p)}{\Delta p} = \frac{0,03\%}{100} \cdot 12,4 = \pm 0,0037$$

$$\Delta p = 12,4 \pm 0,0037$$

$$\frac{\Delta m}{m} = \pm \sqrt{4 \left(\frac{0,048}{16}\right)^2 + \left(\frac{0,0037}{12,4}\right)^2} \cdot 100 = 0,6\%$$

$$\text{Eroarea absolută } \Delta m \text{ va fi } \Delta m = \frac{0,6}{100} \cdot 0,00205 = \pm 0,0000123$$

m va fi $0,00205 \pm 0,0000123$

Pentru temperatura $t_2^{\text{II}} = 42,2 \text{ }^\circ\text{C}$

$$\frac{dt}{t} = \frac{dt}{t}$$

$$\frac{\Delta t}{t} = \frac{\Delta t}{t}$$

$$\frac{\Delta t}{t} = \sqrt{\left(\frac{0,029}{100} \cdot 42,2\right)^2} \cdot 100 = 0,029\%$$

$$\frac{\Delta t}{t} = \frac{0,029}{100} \cdot 42,2 = \pm 0,012$$

$$\Delta t = 42,2 \pm 0,012$$

CAPITOLUL 6

VERIFICAREA MODELULUI DE CALCUL PRIN DATE EXPERIMENTALE

6.1. EXPERIMENTE NUMERICE PRIVIND EVALUAREA TRANSFERULUI TERMIC ÎN TUBURI FIELD NUMAI ÎN REGIM LAMINAR

Pentru tubul Field $\phi 35$ lis (m_2) variabil, la măsurătoarea experimentală 1, fluxul termic pe întregul tub este $\dot{Q}=8,575$ W

$$\text{Raportat la lungimea tubului de } 0,420 \text{ m, } \dot{Q}_l = \frac{8,575}{0,420} = 20,416 \text{ W}$$

$$\dot{m}_1 = 0,00072 \text{ kg/s; } t_2 = 28,2^\circ \text{ C; } t_2 = 40^\circ \text{ C}$$

$$w_2 = \frac{\dot{m}_2}{\rho \cdot s} = \frac{0,00072}{1,069 \cdot \frac{\pi(0,035)^2}{4}} = 0,7 \text{ m/s, unde } s = \frac{\pi d_1^2}{4}$$

Criteriul Reynolds este :

$$Re = \frac{w \cdot R}{\nu} = \frac{0,7 \cdot 0,0175}{1,64 \cdot 10^{-5}} = 746,9 \quad \nu \left[m^2 / s \right] \text{ vâscozitatea cinematică } \Rightarrow$$

curgerea este laminară

$$\frac{1}{R \cdot Re \cdot Pr} = \frac{0,420}{0,0175 \cdot 746,9 \cdot 0,6996} = 4,59 \cdot 10^{-2}; \quad \text{din fișierul tbulk.dat (tub) (Anexă)}$$

$$\text{pentru } 4,59 \cdot 10^{-2} \Rightarrow \theta = 5,856 \cdot 10^{-2} = 0,05856; \theta_{med} = \frac{0,05856}{4} = 0,01464$$

$$\frac{t_1 - t_i}{\frac{\dot{Q}_l}{\lambda}} = \theta_{med}$$

$$t_1 - t_i = \frac{\dot{Q}_l \cdot 0,4}{\lambda} \theta_{med} = \frac{20,129 \cdot 0,4}{0,027} \cdot 0,0146 = 4,354$$

$$t_1 = t_2 + 4,354 = 28,2 + 4,354 = 32,554^\circ \text{ C}$$

Acest t_1 devine temperatură inițială pentru tubul inelar

unde:

$$w = \frac{\dot{m}_2}{\rho_2 \cdot S_{in}} = \frac{0,00072}{1,069 \cdot 0,001} = 0,673 \text{ m/s}$$

$$S_{in} = \frac{\pi D^2}{4} - \frac{\pi d^2}{4} = \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2) = \frac{\pi}{4} (0,05^2 - 0,035^2) = 0,001 \text{ m}^2$$

$$Re = \frac{w \cdot R_2}{\nu} = \frac{0,673 \cdot 0,05}{1,64 \cdot 10^{-5}} = 2051,8$$

$$\frac{l}{R \cdot Re \cdot Pr} = \frac{0,426}{0,05 \cdot 2051,8 \cdot 0,6996} = 5,93 \cdot 10^{-3}$$

din tbulk.dat (inel) (Anexă) \Rightarrow pentru $5,93 \cdot 10^{-3} \Rightarrow \theta = 3,21 \cdot 10^{-3}$

$$\theta_{med} = 0,00321 \cdot 4 = 0,01284$$

$$t_2 - t_i = 0,01284 \cdot \frac{20,129 \cdot 0,6}{0,027} = 5,7435^\circ C$$

$$t_2 = 32,554 + 5,7435 = 38,3^\circ C$$

$$\text{Eroarea este de } 100\% - \frac{38,3 \cdot 100}{40} = 4,25\%$$

Pentru tub ϕ 19 lis m_2 variabil măsură 1.

$$m_2 = 0,00071; \quad \dot{Q}_2 = 12,017; \quad t_2 = 24,5$$

$$t_2'' = 41,3; \quad \dot{Q}_l = \frac{12,017}{0,426} = 28,2 \text{ W/m}$$

$$w = \frac{m_2}{\rho S} = \frac{0,00071}{1,069 \cdot 0,00028} = 2,34 \text{ m/s}$$

$$S = \frac{\pi(0,019)^2}{4} = 0,00028$$

$$Re = \frac{2,34 \cdot 0,0095}{1,64 \cdot 10^{-5}} = 1355,48$$

$$\frac{l}{R \cdot Re \cdot Pr} = \frac{0,420}{0,0095 \cdot 1355,48 \cdot 0,6996} = 0,0466 = 4,66 \cdot 10^{-2}$$

din tbulk.dat (tub) (Anexă)

$$\theta = 5,9 \cdot 10^{-2}$$

$$\theta_{med} = \frac{0,059}{4} = 0,0147$$

$$t_1 - t_i = \frac{\dot{Q}_l}{\lambda} \cdot \theta_{med}$$

$$t_1 - t_i = \frac{28,6 \cdot 0,4}{0,027} \cdot 0,0147 = 6,22$$

$$t_1 = 24,5 + 6,22 = 30,7$$

$$w = \frac{0,00071}{1,069 \cdot 0,00168} = 0,395 \text{ m/s}$$

$$S_{in} = \frac{\pi}{4} (0,05^2 - 0,019^2) = 0,00168$$

$$Re = \frac{0,395 \cdot 0,05}{1,64 \cdot 10^{-5}} = 1205,98$$

$$\frac{l}{R_2 \cdot Re \cdot Pr} = \frac{0,426}{0,05 \cdot 1205,98 \cdot 0,6996} = 1,01 \cdot 10^{-2}; \text{ din tbulk.dat inel (Anexă)} \Rightarrow \theta = 5,39 \cdot 10^{-3}$$

$$\theta_{med} = 0,0539 \cdot 4 = 0,21;$$

$$t_2 - t_1 = \frac{28,2 \cdot 0,6}{0,027} \cdot 0,021 = 13,1 \Rightarrow t_2 = 30,7 + 13,1 = 43,8$$

$$\text{Eroarea este de } 100\% - \frac{4,38 \cdot 100}{41,3} = 6\%$$

6.2. EXPERIMENTE NUMERICE PRIVIND TRANSFERUL TERMIC ÎN TUBUL FIELD LA REGIMURI LAMINARE, TRANZITORII ȘI TURBULENTE CU PROGRAMUL DE MODELARE PHOENICS

Pentru a exemplifica modul în care s-a evaluat un tub Field, juxtapunând rezultatele numerice obținute, cu cele experimentale, am rulat următoarele cazuri:

1. Tub Field lis ϕ 35 cu m_2 variabil, respectiv t_1 variabil
2. Tub Field cu nervuri ϕ 19 mm cu t_1 variabil

În fișierele domlis.bmp (anexa D1) și domnerv.bmp (anexa D2) se reflectă domeniul de modelare.

1. a) $t' = 28,2$; $t'' = 40$; $m = 0,00072 \text{ kg/s}$, laminar, $Q = 8,575 \text{ W}$ s-a obținut prin rularea programului $t'' = 39,8$. Eroarea este de $100\% - \frac{39,8}{40} \cdot 100 = 0,5\%$

fișierele:

tplis1.bmp (anexa D3) (temp.)

vitlis1.bmp (anexa D6) (viteze)

b) $t' = 28,6$; $t'' = 44,8$; $m = 0,000217 \text{ kg/s}$, turbulent, $Q = 35,1858 \text{ W}$ s-a obținut prin rularea programului $t'' = 41,3$. Eroarea este de $100\% - \frac{41,3}{44,8} \cdot 100 = 7,8\%$

fișierele:

tplis2.bmp (anexa D4) (temp.)

vitlis2.bmp (anexa D7) (viteze)

2. $t' = 28,3$; $t'' = 50,6$; $m = 0,00056 \text{ kg/s}$, laminar, $Q = 12,62 \text{ W}$ s-a obținut prin rularea programului $t'' = 48,3$. Eroarea este de $100\% - \frac{48,3}{50,6} \cdot 100 = 4,54\%$

fișierele:

tpnerv1.bmp (anexa D5) (temp.)

vitnerv1.bmp (anexa D8) (viteze)

6.3. INTERPRETAREA CRITICĂ A DATELOR EXPERIMENTALE COMPARATIV CU DATELE DE CALCUL

Diagramele prezentate în urma prelucrării datelor experimentale permit să se tragă următoarele concluzii:

Comparând tubul U cu Tubul Field Φ 19 (diagrama G 97), cu ajutorul eficienței Φ funcție de χ , (ambele schimbătoare au aceleași suprafețe de schimb de căldură), constatăm o comportare similară a celor două tuburi sub raportul eficienței, cu o ușoară superioritate a tubului Field, în special în zona tranzitorie și turbulentă. Acest lucru se

poate explica prin faptul că turbulența se intensifică cu creșterea vitezei la tubul Field datorită desprinderilor liniilor de curent și intensificării turbulenței, în zona de întoarcere.

Din diagrama G 93 rezultă că pentru $h = 6$ mm, adică pentru distanțe mici între tubul interior și cel exterior, eficiența este mai mică comparativ cu $h = 22$ mm și cu $h = 13$ mm. Prin creșterea valorii lui h fenomenul de turbulență se diminuează. În consecință, optimul pentru h se alege în domeniul 10-15 mm, pentru dimensiunile și regimurile experimentate și studiate de autor.

Din diagramele G 98 și G 99, prin compararea lui Q și C_f funcție de viteza fluidului, rezultă că tubul $\Phi 19$ lis are fluxul de căldură mai mare dar și coeficientul de frecare mai mare, datorită frecărilor. Acest tub, $\Phi 19$ lis, se recomandă când dorim flux mai mare și nu se pune problema consumului energetic pentru vehiculare. Tubul U are un flux de căldură mai mic, în schimb coeficientul de frecare este mai mic.

Dacă tubul U și tubul Field $\Phi 19$ au eficiență comparabilă, conform diagramei G 97, în schimb performanțele termice sunt superioare pentru tubul Field față de U, așa cum rezultă din diagrama G 100, unde s-a prezentat variația numărului Nusselt în funcție de numărul Reynolds $Nu = f(Re)$.

În diagrama G 100 s-a reprezentat $Nu f(Re)$ iar în diagrama G 95 s-a reprezentat $cf = f(w_2)$.

Din diagramele G 95 și G 94 rezultă că o foarte bună comportare o are tubul cu $h = 13$ mm, unde coeficientul de frecare este cel mai mic la fluxuri de căldură Q_2 comparabile.

Din punct de vedere al performanțelor termice, tubul $\phi 35$ lis cu $h=13$ mm are valori mai bune în domeniul vitezelor mai mari ($Re > 2300$) după cum rezultă din diagrama G 93, unde s-a reprezentat $Nu=f(Re)$.

Tubul $\phi 35$ s-a realizat în trei variante:

- rugos interior
- rugos exterior
- rugos interior și exterior

Analizând variația eficienței în funcție de Re rezultă o eficiență superioară pentru tubul rugos în exterior și interior (diagrama G 92).

Din analiza diagramei G 90 și G 91 rezultă că tubul $\phi 35$ rugos în interior și exterior are foarte bune performanțe termice, fluxul termic având valori mari, în schimb coeficientul de frecare este mare. Acest tub este recomandabil a se folosi atunci când dorim flux termic mare.

Atunci când se pune problema consumului energetic pentru vehicularea fluidelor, se recomandă tubul rugos în interior, însă acesta transmite cel mai mic flux termic.

De altfel și performanțele termice analizate în diagrama G 89, prin criteriile de similitudine $Nu=f(Re)$, arată clar o superioritate a tubului rugos în exterior și interior.

Această rugozitate intensifică turbulența și contribuie la îmbunătățirea performanțelor termice, cu înrăutățirea însă a coeficientului de frecare.

Analizând comportarea tubului U, a celui Field $\phi 35$ cu $h=6$ mm, a tubului Field $\phi 19$, a tubului Field $\phi 30$ și a tubului $\phi 40$ în ceea ce privește evoluția fluxului de

căldură Q_2 (diagrama G 101) și a coeficientului de frecare C_f (diagrama G 102) se pot trage următoarele concluzii:

Tubul Field $\phi 19$ lis are performanțele termice cele mai bune; coeficientul de frecare are însă valorile cele mai mari, care scad însă în domeniul tranzitoriu și turbulent, unde și fluxul termic crește simțitor.

Cel mai nefavorabil se comportă din punct de vedere al fluxului de căldură transmis, tubul $\phi 40$ lis dar care are și cel mai redus coeficient de frecare.

Tubul U se plasează intermediar fiind devansat de tubul $\phi 19$ lis.

În domeniul laminar coeficientul de frecare are o variație bună iar în domeniul tranzitoriu variația este accentuată, fiind determinată în tranzitoriu de intensificarea turbulenței.

În diagrama din G 103 am reprezentat $Nu=f(Re)$ pentru schimbătoare de căldură tip Field $\phi 19$, $\phi 30$, $\phi 35$, $\phi 40$, tub Field $\phi 35$ cu $h=13$ mm, tub Field $\phi 35$ rugos în exterior și interior și tub U, iar pentru compararea rezultatelor cu alte schimbătoare de căldură din literatura de specialitate am ales schimbătoare de căldură compacte cu nervuri drepte de tip K_2 [48] precum și schimbătoare compacte cu suprafețe sinusoidale P_2 [50].

Analizând diagrama G 103 constatăm că în domeniul laminar, (până la $Re = 2300$) schimbătorul de tip P_2 este cel mai performant, urmat de tipul K_2 , celelalte suprafețe de transfer termic având aproape aceeași comportare, cu o ușoară superioritate a tuburilor $\phi 19$ și $\phi 35$ rugos în exterior și interior.

În domeniul tranzitoriu, între 2300-4000, constatăm că performanțele termice cresc, dar se și diferențiază apreciabil.

Astfel, dacă schimbătorul compact cu nervuri sinusoidale își păstrează superioritatea, tubul $\phi 19$ lis înregistrează creșteri apreciable, fiind superior tubului $\phi 35$ rugos în exterior și interior, tubului Field $\phi 35$, $h=13$ mm, Field $\phi 35$ $h = 6$ mm, tubului Field $\phi 40$, schimbătorului compact cu nervuri sinusoidale tip K_2 , tubului $\phi 30$ și tubului U, în ordinea enumerării.

Această comportare se poate explica prin influențele pe care turbulența le are asupra performanțelor termice ale schimbătorului.

Se observă că la trecerea din domeniul laminar în tranzitoriu, fenomenul de capăt care are ca și consecință intensificarea turbulenței și ruperea stratului limită, determină intensificarea transferului termic pentru tuburile Field, fenomen bine evidențiat, deși reprezentarea este adimensională. La viteze mari, tuburile Field sunt mai eficiente din punct de vedere a performanțelor termice față de tuburile clasice, dar cu creșteri substanțiale ale coeficientului de frecare. Acest fenomen este vizualizat în fișierul vitlis2.bmp din figura anexa D 7, unde este modelat câmpul de viteze.

De altfel, se poate concluziona că valoarea diametrului tubului interior are foarte mare influență asupra performanțelor tubului Field. Aceasta întrucât s-a constatat și din modelarea tubului Field dar și din analiza procesului de schimb de căldură că din fluxul termic total schimbat la nivelul peretelui tubului interior, el reprezintă 40%, pe când la nivelul peretelui exterior el este de 60%, ceea ce explică și comportarea mai bună a tuburilor Field cu diametrul tubului interior de 19 mm.

CAPITOLUL 7

CONCLUZII. CONTRIBUȚII PERSONALE

7.1. CONCLUZII

Lucrarea “Utilizarea tuburilor Field în construcția schimbătoarelor de caldură” are ca scop studiul și îmbunătățirea performanțelor termice și hidrodinamice ale schimbătoarelor de căldură cu tuburi Field. Făcând abstracție de dezavantajul unei prelucrări tehnologice mai pretențioase, tubul Field are multe aplicații speciale. Începând de la tehnica nucleară aerospațială și în domeniul temperaturilor ultraînalte (tuburi ceramice). Toate aceste aplicații îl situează în zona tehnicii de vârf. Din acest motiv, literatura de specialitate este săracă în informații despre performanțele acestui tub. De aici și ponderea mare a cercetării experimentale în structura lucrării.

Combinarea modelului matematic de curgere printr-un tub simplu cu cel de curgere printr-un tub inelar a generat un model matematic al curgerii gazodinamice printr-un tub Field. Rezultatele teoretice în domeniul laminar au fost foarte apropiate de cele experimentale, abaterile fiind de până la 4 %.

Acestea au confirmat că modelele studiate au fost corect și complet elaborate în domeniul curgerii laminare.

Modelul matematic care permite extinderea studiului și în domeniul tranzitoriu și turbulent a fost dezvoltat cu ajutorul unui program Phoenics, care permite simularea proceselor de curgere și transfer termic. În acest program s-a confirmat din nou o precizie ridicată în domeniul laminar, iar în domeniul tranzitoriu rezultatele față de datele experimentale sunt acceptabile (eroare de 7%). Această abatere se poate explica prin faptul că în mediu vâscos, ecuațiile Navier-Stockes nu sunt încă soluționate.

Utilizarea de aparatură digitală de mare precizie a permis obținerea de rezultate de mare finețe, lucru validat și de cele rezultate din studiul de propagare a erorilor.

Studiul experimental a demonstrat că toate optimizările constructive și funcționale sunt însoțite de majorări ale căderii de presiune, dar având în vedere că în domeniul laminar și tranzitoriu costurile energiei de vehiculare nu sunt semnificative, ele nu au fost luate în calcul.

De altfel, pentru tubul Field $\phi 19$ cu nervuri plasate pe exteriorul tubului de diametrul respectiv, căderile de presiune fiind foarte mari, în domeniul cercetat nu s-a putut varia debitul m_2 . În consecință nu s-au tras concluzii comparative cu celelalte tipuri de tuburi. În schimb s-a modelat matematic și acest tip de tub, atât în regim laminar cât și tranzitoriu.

Ecuațiile fundamentale s-au discretizat cu modelul power-law, iar ecuațiile algebrice obținute în urma discretizării se rezolvă cu metoda linie după linie. Soluționarea câmpului de presiune se obține prin metoda SIMPLER.

Studiile experimentale ale acestor tuburi Field în zona curgerilor laminare și tranzitorii au demonstrat că optimizarea lor este posibilă, validarea rezultatelor experimentale prin modele teoretice constituind o confirmare. Astfel, din analiza

rezultatelor cercetării experimentale rezultă că în domeniul laminar și tranzitoriu (în care s-a lucrat) cât și la dimensiunile geometrice utilizate, un tub optim este cel cu diametrul interior de 19 mm rugos în interior și exterior, precum și cel cu diametrul exterior de 50 mm, cu lungimea tubului de 420 mm și cu $h=13$ mm. La acest tip de tub, raportul dintre secțiunea de curgere inelară și tubulară este de 5,9.

7.2. CONTRIBUȚII PERSONALE

Având în vedere complexitatea problematicii tuburilor Field, legată de optimizarea lor constructiv-funcțională, domeniile de vârf cum sunt domeniul nuclear și cel aerospațial în care acestea se aplică, literatura de specialitate este săracă în informații legate de tematica cercetării impuse de teza de doctorat.

În cele ce urmează, se inventariază câteva din contribuțiile originale ale autorului în domeniul care face obiectul tezei de doctorat.

Apelând inclusiv la informații recente stocate pe Internet, s-a reușit sistematizarea datelor la zi făcute publice în legătură cu problematica specifică tuburilor Field.

S-au efectuat cercetări experimentale de detaliu privind performanțele tuburilor Field în raport cu fenomenele de capăt, cu efectele de turbulență realizate prin intervenții asupra rugozităților macroscopice, cu ajutorul nervurilor și influența raportului între secțiunea de curgere în spațiu inelar și tubular.

A fost concepută și realizată instalația experimentală pentru încercarea tuburilor Field, caracterul de originalitate constând și din faptul că informațiile din literatura de specialitate sunt foarte sumare în acest domeniu.

În scopul elucidării fenomenelor complexe care guvernează funcționarea tuburilor Field și a asigurării posibilităților de optimizare a performanțelor acestora, încă din faza de proiectare de către constructor, s-a realizat un program complex și relativ complet de cercetări experimentale, care a avut în vedere atât verificarea efectelor de ansamblu ale geometriei tuburilor Bayonet asupra nivelului calităților termohidrodinamice ale acestora, cât și a influențelor benefice ale subansamblelor care asigură turbulența curgerii în raport cu situația curgerii laminare.

S-a dezvoltat un program complex de prelucrare a datelor experimentale, completat, pentru operativitate și cu un soft adecvat de reprezentare grafică a diagramelor experimentale.

Studiul programării erorilor de mare finețe pentru mărimi direct și indirect stabilite la standul experimental, a permis calificarea performanțelor metodologice ale cercetărilor efectuate.

S-a efectuat modelarea matematică a curgerii gazodinamice în tuburile Field în regim laminar și în regim tranzitoriu-turbulent, pe baza unui algoritm de calcul original, prelucrat cu ajutorul ordinatorului.

A fost stabilită în detaliu interdependența parametrilor care guvernează transferul termic în tuburile Field.

S-au calibrat experimental modelele teoretice ce descriu gazodinamica fenomenelor care au loc în tubul Field.

Pentru a oferi soluții tehnice de interes în practica constructorului și a utilizatorului, s-au optimizat din punct de vedere al performanțelor tehnice în corelație cu soluțiile constructive adoptate, aplicațiile cu tubul Field.

BIBLIOGRAFIE

- [1] Dan, Liviu Negru: Transmiterea căldurii, vol. I, Facultatea de Mecanică, Timișoara, 1990.
- [2] Nagi Mihai: Utilaje Termice, Facultatea de Mecanică Timișoara, 1996.
- [3] Negrea Virgiliu Dan: Bazele cercetărilor experimentale a mașinilor termice, Facultatea de Mecanică Timișoara 1978.
- [4] Helmut Theil: Utilaje termice, vol. I Facultatea de Mecanică Timișoara 1981.
- [5] Bejan Andrei: Termodinamica avansată, Editura tehnică 1996.
- [6] Călăuian Vasile: Termotehnică și aparate termice, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1982.
- [7] Popa B.: Manualul Inginerului Termoenergetician, vol. I și II, București, Editura Tehnică, 1986.
- [8] A. Leca, s.a.: Procese și instalații termice în centrale nucleare-electrice Editura Didactică și Pedagogică, București, 1979.
- [9] Popa B.: Termodinamică, mașini și instalații termice, Editura Didactică și Pedagogică, București 1973.
- [10] Motântău Sârbu Dan: Studium Bezüglich der hochleistung der wärmetauscher mit fieldtube Eigenverlag, Lehrstuhl für Energie-und Umwelttechnik der Lebensmittelindustrie Ausflage, Freising, 1997
- [11] Patankar S. V.: Numerical Heat Transfer and Fluid Flow, McGraw-Hill, New York, 1980.
- [12] Patankar S. V., Spalding D.B.: Heat and mass transfer in bounday layers, Intertext books, London, 1970.
- [13] Patankar S. V., Spalding, D.B.: A calculation procedure for heat, mass and momentum transfer in three - dimensional parabolic flows, International jour of heat mass transfer, Vol 15, p.1787-1806, 1972.
- [14] Hassaine, A, s.a.: Etude du Champ des vitesses et du transfer termique dans un canal a parois sinusoidales soumises a un flux de chaleur de densite constant, Int. J. Heat Mass Transfer, vol. 37, pp. 717 - 725, 1994.
- [15] Asaco Y., Faghri M: Finite volume solutions for laminar flow and heat transfer in a corrugated duct, Journal of heat transfer, vol. 109, p. 627 - 633, 1987.
- [16] Negru L. D., Laza I., Nagi M., Lelea D.: Odredivanje termickih I hidrodinamickih karakteriistika uljnog haladnjaka sa rebrima u obliku saca izradenih od aluminijuma, Sedmi strucni skup o Procesnoj industriji, Beograd, 1993.
- [17] Nagi M., Laza I., Lelea D.: Performanțele suprafețelor nervulate utilizate la schimbătoarele de căldură din aluminiu realizate în țară, a VI-a Conferință Națională de Termotehnică, Iași, 1996.
- [18] Nagi M., Laza I., Lelea D.: Cercetări experimentale privind repartiția vitezei fluidului în canalele sinusoidale ale schimbătoarelor de căldură compacte, Analele Universității Constantin Brâncuși, Târgu Jiu, Romania, seria A, Nr.2/1995.
- [19] Nagi M., Negru L. D., Lelea D: Teoretska I eksperimentalna istrazivanjau pogledu uporendivanja uljnih hladnjaka koriscenih kod motora sa unutrasnijim sa

gorevanjem, Osmi strucni skup o opremi u procesnoj industriji, 26-27 oktobar, Beograd, 1994.

[20] Nagi M., Negru L. D., Laza I., Lelea D: Odredivanje kriterijalne relacije prenosa toplote pri laminarnom strujanju vazduha kroz kompaktne izmenjivace toplone sa talasastim rebrima izradenih od aluminijuma, Sedmi skup o opremi u Procesnoj industriji, Beograd, 1993.

[21] Faghri M., Rao N: Numerical Computation of Flow and Heat Transfer in Finned and Unfinned Tube Banks, Int. J Haet Mass Transfer, p. 363-372, 1987.

[22] Laza I., Nagi M., Rădulescu L., Lelea D: Analiza uticaja visise rebra na prenos toplote kod cevi sa krunim rebrima, Procesna Tehnika, br. 2, 1993, Beograd.

[23] Laza I., Nagi M., Negru L. D., Lelea, D: Uticaj broja reda cevi na termicke i hidrodinamike karakteristike snopa orebrenih cevi, Industrijska energetika, Beograd, 1994.

[24] Laza I., Lelea D: Protejarea pereților izolați termic împotriva condensării în straturile reci, a V-a Conferință Națională de Termotehnică, 26-27 mai, Cluj-Napoca, România.

[25] Laza I., Nagi M., Lelea D: Studiul experimental al unor schimbătoare de caldură cu nervuri, Analele Universității Constantin Brâncuși, Târgu Jiu, România, seria A, Nr. 2/1995.

[26] Laza I., Lelea D., Nagi M.: Influența numărului de rânduri de tuburi și a pasului dintre aripioare asupra performanțelor termice și fluidodinamice la bateriile de țevi aripate, a VI-a Conferință Națională de Termotehnică, Iași, 1996.

[27] Patankar S. V., Liu C. H., Sparrow E.M.: Fully developed and transfer in ducts having streamwise - periodic variation of cross - sectional area, Journal of heat transfer, vol 99, p. 180 - 186, 1977.

[28] Patankar S. V, Patankah C.: An Analysis of the Effect of Thickness on Laminar Flow and Heat Transfer in Interrupted-Plate Passages , Int. J. Heeat Transfer, vol. 24, p. 1801-1810, 1981.

[29] Patankar S. V, Patankah C.: An Analysis of the effect of plate thickness on laminar flow and heat transfer in interrupted - plate passages, International Journal of Heat Mass Transfer, vol. 24 No 11, p. 1801-1810, 1981.

[30] Nagi M., Negru L. D., Laza I., Lelea D.: Eksperimentalna istrajivanja kompaktnih izmenjivaco toplote sa kratkim isprekidamin rebrima, Industrijska energetika, Beograd, 1994.

[31] Nagi M., Laza I., Lelea D: Istrajivanja uticaja ulaznog efekta kod kompaktnih izmenjivaca toplote sa isprekidanim rebrima, Naucno strucni skup Procesing '95, 27-29 septembar 1995, Tivat, Jugoslavia.

[32] Rowley G. J., Pantankar S.V: Analysis of laminar flow and heat transfer in tubes with internal circumferential fins, International Journal of heat and mass transfer, vol. 27 no. 4, p. 553-560, 1984.

[33] Webb B. W., Ramadhyani S.: Conjugare heat transfer in a channel with staggered ribs, International Journal of heat and mass transfer, vol. 28, no. 9, p. 1679-1687, 1985.

[34] Carnavos T.C.: Cooling air in turbulent flow with finned,tubes, Heat transfer engineering, vol 1, no 2, 1979.

- [35] Apostolescu Nicolae, Taraza Dinu: Bazele cercetării experimentale a mașinilor termice, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1979.
- [36] Ghia V. Victor: Recuperatoare și regeneratoare de căldură, Editura Tehnică, București, 1966.
- [37] Ionescu Gabriel: Măsurări și traductoare, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1985
- [38] Neacșu E., Naghi M.: Tabele, diagrame și formule termotehnice, litografia Universității Tehnice Timișoara, 1992.
- [39] Echangeur de chaleur de tube de baionnette par la serrure et le H Minhas de GSH. Edité par la société americaine des ingineurs mecaniciens. Volume 50, numero 8, Aôut 1997.
- [40] Nagi M.: Utilaje termice – lucrări, litografia Universității Tehnice Timișoara 1995
- [41] Theil H: Manualul Inginerului Termotehnician, 1968.
- [42] Popa B., Theil H., Mădărășan T.: Schimbătoare de căldură industriale. Ed. Tehnică, București, 1977.
- [43] Nagi M.: Schimbătoare de căldură din aluminiu, Mirton/97 973-578-275-8.
- [44] Lelea D.: Intensificarea schimbului de căldură la curgerea forțată a fluidelor vâscoase în regim laminar prin tuburi cu generatori de turbulență, teză de doctorat, 1996.
- [45] Nagi M., Arina Negoïtescu: Calculul și construcția instalațiilor termice, vol. I, E. Murgu/1998, 973-97754-9-7.
- [46] Nagi M., V. D. Negrea, Negoïtescu A.: Gazodinamica echipamentelor termice E. Murgu/1998.
- [47] STAS 8566/86. Schimbătoare de căldură - clasificare.
- [48] Kays W. M., London A. L: Hochleist – ungewarme u bertrager (trad. din lb. engleză) Akademie Verlag, Berlin, 1973.
- [49] Popa B., Theil H.: Mădărășan T., Schimbătoare de căldură industriale, Ed. Tehnică, București, 1977.
- [50] Nagi Mihai: Contribuții privind studiul schimbătoarelor de căldură compacte în construcție brațată din aluminiu, teză de doctorat, I.P. Timișoara, 1995.
- [51] Vlădea I.: Tratat de termodinamică tehnică și transmiterea căldurii, Ed. Didactică și Pedagogică, București, 1974.
- [52] Adams W. H.: Transmision de la chaleur, Ed. Dunod, Paris, 1961.
- [53] Bergles A. E.: Survey and evaluation of tehniques to augment convective heat and mass transfer, Progers in Heat and Mass Transfer, vol. I., Pergamon Press. Oxford, 1969.
- [54] Chen C.P.: Etude experimentale de la couche limite termique dans l'eau. Int. J. Heat Mass Transfer, vol. XII nr 1/1969.
- [55] Chiriac F., Leca A., Pop M., Badea A., Luca L., Antonescu N., Peretz D.: Procese de transfer de căldură și de masă în instalațiile industriale, Editura tehnică – București 1982.
- [56] Dispprey D. F., Sabersky, R. H.: Heat and momentum transfer in smooth and rough tubes at various Prandtl numbers. Int. J. Heat Mass Transfer, nr. 6/1963.

- [57] -Gomelaury V. I.: Influence of two – dimensional artificial roughness on convective heat transfer, Int. J. Heat Mass Transfer. vol. I. 1964.
- [58] Hasegawa S., Fujita Y.: Turbulent heat transfer in a tube with prescribed heat flux. Int. J. Heat and Mass Transfer, vol. II, nr. 6/1968.
- [59] Kay J. M., Nedderman R.M.: Fluid Mechanics and Heat Transfer, Cambridge University Press, Cambridge, London, New York, Melbourne, 1974.
- [60] Kays W., London A.: Compact Heat Exchanges, 2 nd Edn Mc. Graw Hill, New York, 1964.
- [61] Leca A.: Ridicarea eficienței aparatelor schimbătoare de căldură, Editura Tehnică. București 1978.
- [62] Leonăchescu N.: Termotehnică. Editura Didactică și Pedagogică, București 1974.
- [63] Marchal R.: Transmission de la chaleur par convection dans les tubes Paris. Edition Eyrolles, 1974
- [64] Sparow E.H., Liu C.H.: Heat transfer pressure drop and performances relationships for in line staggered and continuous plate heat exchangers. Int J. of Heat and Mass Transfer, vol. 22, p. 1631-1625. 1989.
- [65] Vasilescu A. A.: Analiza dimensională și teoria similitudinii. Editura Academiei Române, București, 1969.
- [66] Bosnjakovici F.: Einheitliche Berechnung von Rekuperatoren . VDI – Forschungsheft - 432.
- [67] Davidescu Al., Mucica H.: Schimbul de căldură în instalațiile industriale. Editura tehnică, 1964.
- [68] Rohsenow W., Hartnett I.: Handbok of Heat Transfer, Mc. Graw-Hill, 1973.
- [69] Mc. Adams: Heat Transmission, Mc. Grow-Hill Boot Company, Inc. 1954.
- [70] Hausen H.: Wärmeübertragung und Wärmeaustauscher, Springer-Verlag, 1950.
- [71] Nagi M.: L'étude de l'influence de la longueur des ailettes sur les performances thermiques des échangeurs de chaleur compacts.
- [72] Ungureanu C.: Generatoare de abur pentru instalații energetice, clasice și nucleare, Ed. Didactică și Pedagogică, București, 1977.

*www.cometec.com/e31.html -COMETEC equipment construction

*www.me.wustl.edu/ME/labs/thermal/me372b5.htm -heat exchanger-lab5

*www.cham.co.uk - Phoenixics

Simboluri utilizate

$d_x \cdot d_y \cdot d_z$ = volumul elementar

Pe = invariantul Peclet

Fe = coeficient de difuziune

De = debitul

u, v, w = proiecțiile vitezei pe cele 3 axe

β_x = gradientul de presiune axial

$P(x,y)$ = variație locală a presiunii

q = densitatea fluxului termic local

Γ = coeficientul de transport care, în cazul ecuației de mișcare corespunde coeficientului de vâscozitate dinamică μ

m = debit masic (și M)

l = lungimea caracteristică

ν = vâscozitatea cinematică

a = difuzibilitatea termică

f = coeficientul de rezistență hidrodinamică

j = criteriul Colbourn

θ = căderea de temperatură

$\frac{\partial t}{\partial r}$ = gradient de temperatură

l_{st} = lungimea de stabilizare termică

Re_s = criteriul Re pentru curgerea turbionară

μ = coeficient de vâscozitate dinamică

λ = conductivitatea termică

ϕ = coeficient pentru corecția vâscozității

J = fluxul termic total

τ = fluxul total

$\frac{\partial p}{\partial x}, \frac{\partial p}{\partial y}$ = căderile de presiune

p^* = presiunea estimată

p^l = corecția presiunii

Q = fluxul termic transmis

Z^* = pasul axial adimensional

Fișierul tbulk.dat

Tub

| | |
|------------------------|------------------------|
| 1.414427157001414E-003 | 1.801817974199818E-003 |
| 2.828854314002829E-003 | 3.603641297117791E-003 |
| 4.243281471004243E-003 | 5.405461973644497E-003 |
| 5.657708628005658E-003 | 7.207277943959460E-003 |
| 7.072135785007073E-003 | 9.009096367396030E-003 |
| 8.486562942008486E-003 | 1.081091706044328E-002 |
| 9.900990099009901E-003 | 1.261273317775184E-002 |
| 1.131541725601132E-002 | 1.441455195248074E-002 |
| 1.272984441301273E-002 | 1.621637015466156E-002 |
| 1.414427157001415E-002 | 1.801818792741621E-002 |
| 1.555869872701556E-002 | 1.982000542160935E-002 |
| 1.697312588401698E-002 | 2.162182503838636E-002 |
| 1.838755304101839E-002 | 2.342364448194184E-002 |
| 1.980198019801981E-002 | 2.522547169894903E-002 |
| 2.121640735502123E-002 | 2.702730422706862E-002 |
| 2.263083451202264E-002 | 2.882914386702221E-002 |
| 2.404526166902406E-002 | 3.063099263257484E-002 |
| 2.545968882602547E-002 | 3.243285270349756E-002 |
| 2.687411598302689E-002 | 3.423472637627673E-002 |
| 2.828854314002830E-002 | 3.603661601579764E-002 |
| 2.970297029702972E-002 | 3.783852401025346E-002 |
| 3.111739745403114E-002 | 3.964045273067303E-002 |
| 3.253182461103255E-002 | 4.144240449579166E-002 |
| 3.394625176803397E-002 | 4.324438154249546E-002 |
| 3.536067892503538E-002 | 4.504638587082060E-002 |
| 3.677510608203680E-002 | 4.684841939507000E-002 |
| 3.818953323903822E-002 | 4.865048434070924E-002 |
| 3.960396039603963E-002 | 5.045258233905248E-002 |
| 4.101838755304105E-002 | 5.225471491131287E-002 |
| 4.243281471004246E-002 | 5.405688346672755E-002 |
| 4.384724186704388E-002 | 5.585908924657661E-002 |
| 4.526166902404530E-002 | 5.766133333169899E-002 |
| 4.667609618104671E-002 | 5.946361665005843E-002 |
| 4.809052333804813E-002 | 6.126593997948195E-002 |
| 4.950495049504954E-002 | 6.306830395279710E-002 |
| 5.091937765205096E-002 | 6.487070906443021E-002 |
| 5.233380480905237E-002 | 6.667315567743445E-002 |
| 5.374823196605379E-002 | 6.847564403091154E-002 |
| 5.516265912305521E-002 | 7.027817424771873E-002 |
| 5.657708628005662E-002 | 7.208074634228687E-002 |
| 5.799151343705804E-002 | 7.388336022843862E-002 |
| 5.940594059405945E-002 | 7.568601572711293E-002 |

| | |
|------------------------|------------------------|
| 6.082036775106087E-002 | 7.748871257392745E-002 |
| 6.223479490806228E-002 | 7.929145042651733E-002 |
| 6.364922206506370E-002 | 8.109422887160878E-002 |
| 6.506364922206512E-002 | 8.289704743179495E-002 |
| 6.647807637906653E-002 | 8.469990557199081E-002 |
| 6.789250353606795E-002 | 8.650280270555266E-002 |
| 6.930693069306937E-002 | 8.830573820005380E-002 |
| 7.072135785007078E-002 | 9.010871138271245E-002 |
| 7.213578500707220E-002 | 9.191172154547646E-002 |
| 7.355021216407361E-002 | 9.371476794976534E-002 |
| 7.496463932107503E-002 | 9.551784983088177E-002 |
| 7.637906647807644E-002 | 9.732096640210011E-002 |
| 7.779349363507786E-002 | 9.912411685844447E-002 |
| 7.920792079207928E-002 | 1.009273003801689E-001 |
| 8.062234794908069E-002 | 1.027305161359535E-001 |
| 8.203677510608211E-002 | 1.045337632858319E-001 |
| 8.345120226308352E-002 | 1.063370409838627E-001 |
| 8.486562942008494E-002 | 1.081403483805607E-001 |
| 8.628005657708634E-002 | 1.099436846251022E-001 |
| 8.769448373408777E-002 | 1.117470488673193E-001 |
| 8.910891089108917E-002 | 1.135504402594957E-001 |
| 9.052333804809060E-002 | 1.153538579579794E-001 |
| 9.193776520509200E-002 | 1.171573011246225E-001 |
| 9.335219236209343E-002 | 1.189607689280644E-001 |
| 9.476661951909483E-002 | 1.207642605448667E-001 |
| 9.618104667609625E-002 | 1.225677751605138E-001 |
| 9.759547383309766E-002 | 1.243713119702865E-001 |
| 9.900990099009908E-002 | 1.261748701800247E-001 |
| 1.004243281471005E-001 | 1.279784490067809E-001 |
| 1.018387553041019E-001 | 1.297820476793794E-001 |
| 1.032531824611033E-001 | 1.315856654388886E-001 |
| 1.046676096181047E-001 | 1.333893015390104E-001 |
| 1.060820367751062E-001 | 1.351929552463992E-001 |
| 1.074964639321076E-001 | 1.369966258409137E-001 |
| 1.089108910891090E-001 | 1.388003126158080E-001 |
| 1.103253182461104E-001 | 1.406040148778717E-001 |
| 1.117397454031118E-001 | 1.424077319475172E-001 |
| 1.131541725601132E-001 | 1.442114631588261E-001 |
| 1.145685997171147E-001 | 1.460152078595564E-001 |
| 1.159830268741161E-001 | 1.478189654111129E-001 |
| 1.173974540311175E-001 | 1.496227351884886E-001 |
| 1.188118811881189E-001 | 1.514265165801766E-001 |
| 1.202263083451203E-001 | 1.532303089880595E-001 |
| 1.216407355021217E-001 | 1.550341118272774E-001 |
| 1.230551626591232E-001 | 1.568379245260748E-001 |

| | |
|------------------------|------------------------|
| 1.244695898161246E-001 | 1.586417465256347E-001 |
| 1.258840169731260E-001 | 1.604455772798959E-001 |
| 1.272984441301274E-001 | 1.622494162553619E-001 |
| 1.287128712871288E-001 | 1.640532629308949E-001 |
| 1.301272984441302E-001 | 1.658571167975064E-001 |
| 1.315417256011316E-001 | 1.676609773581389E-001 |
| 1.329561527581331E-001 | 1.694648441274395E-001 |
| 1.343705799151345E-001 | 1.712687166315356E-001 |
| 1.357850070721359E-001 | 1.730725944078017E-001 |
| 1.371994342291373E-001 | 1.748764770046252E-001 |
| 1.386138613861387E-001 | 1.766803639811746E-001 |
| 1.400282885431401E-001 | 1.784842549071622E-001 |

Fisierul Tbulk.dat

Inel

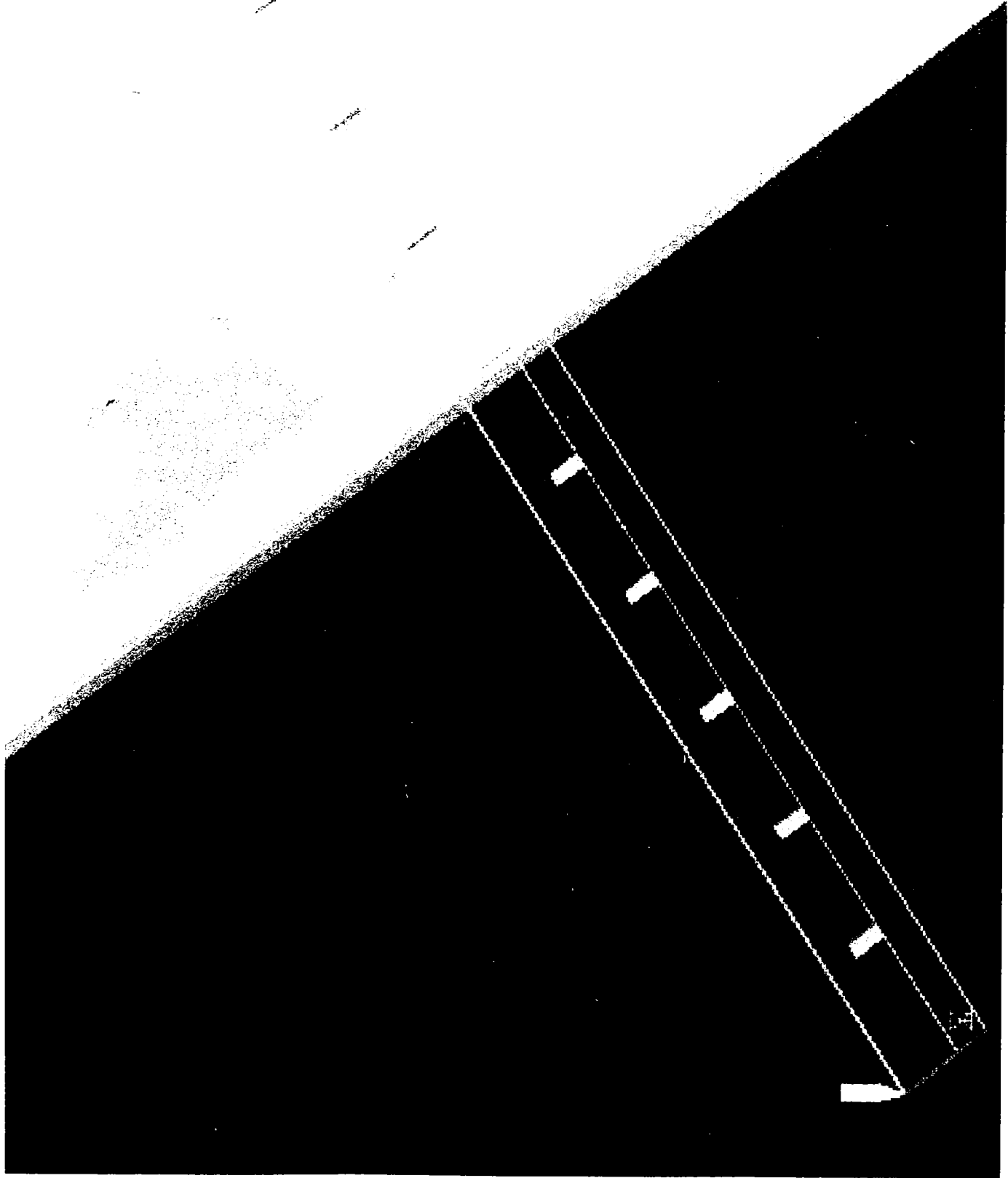
| | |
|------------------------|------------------------|
| 1.414427157001414E-007 | 7.629649280995176E-008 |
| 2.970297063425542E-007 | 1.639690787827530E-007 |
| 4.681753997586911E-007 | 2.595746713317060E-007 |
| 6.564356665968730E-007 | 3.626831060862533E-007 |
| 8.635219646073477E-007 | 4.749394734798057E-007 |
| 1.091316897356192E-006 | 5.978237127963644E-007 |
| 1.341891328810975E-006 | 7.327017808594351E-007 |
| 1.617523209385396E-006 | 8.809389419029854E-007 |
| 1.920718284588836E-006 | 1.043964055968140E-006 |
| 2.254232874541353E-006 | 1.223309101645311E-006 |
| 2.621098931440730E-006 | 1.423477582014316E-006 |
| 3.024651602776813E-006 | 1.640394599085980E-006 |
| 3.468559550867949E-006 | 1.878999407246157E-006 |
| 3.956858304351789E-006 | 2.144298305094246E-006 |
| 4.493986944825964E-006 | 2.433056919250151E-006 |
| 5.084828462153699E-006 | 2.750788356437576E-006 |
| 5.734754145300969E-006 | 3.102936468044095E-006 |
| 6.449672412258401E-006 | 3.487526474671396E-006 |
| 7.236082522956555E-006 | 3.913238123851676E-006 |
| 8.101133663474004E-006 | 4.378698377082534E-006 |
| 9.052689938667623E-006 | 4.890897993878718E-006 |
| 1.009940186406747E-005 | 5.456733221169429E-006 |
| 1.125078500696287E-005 | 6.076708073497931E-006 |
| 1.251730649159891E-005 | 6.761053615957729E-006 |
| 1.391048015489479E-005 | 7.511412563786467E-006 |
| 1.544297121773610E-005 | 8.339163002381145E-006 |
| 1.712871142339898E-005 | 9.247313342252713E-006 |
| 1.898302568981932E-005 | 1.024859761670630E-005 |
| 2.102277142709200E-005 | 1.134769661891100E-005 |
| 2.326649178672327E-005 | 1.255897165692993E-005 |
| 2.573458423581213E-005 | 1.389139793009341E-005 |
| 2.844948598865378E-005 | 1.535453324878541E-005 |
| 3.143587798150791E-005 | 1.696645121584240E-005 |
| 3.472090924484857E-005 | 1.873714717756833E-005 |
| 3.833444371284456E-005 | 2.068729217531743E-005 |
| 4.230933171379352E-005 | 2.283014257159415E-005 |
| 4.668170860960609E-005 | 2.518955932301657E-005 |
| 5.149132329924550E-005 | 2.778492958859824E-005 |
| 5.678189957251901E-005 | 3.063737888969390E-005 |
| 6.260153359925703E-005 | 3.377749468237425E-005 |
| 6.900313116741974E-005 | 3.722930070359852E-005 |
| 7.604488864502472E-005 | 4.102858988689894E-005 |
| 8.379082203827875E-005 | 4.520781508665556E-005 |
| 9.231134895553565E-005 | 4.980252331155496E-005 |
| 1.016839287676634E-004 | 5.485911788866511E-005 |
| 1.119937667844637E-004 | 6.041907775643235E-005 |
| 1.233345888487497E-004 | 6.653731603955213E-005 |
| 1.358094933898505E-004 | 7.326738224650965E-005 |
| 1.495318886824864E-004 | 8.066806522477536E-005 |
| 1.646265238315532E-004 | 8.881119159852894E-005 |

| | |
|------------------------|------------------------|
| 1.812306228554108E-004 | 9.776863376904677E-005 |
| 1.994951321775268E-004 | 1.076193454427955E-004 |
| 2.195860928673142E-004 | 1.184575916443549E-004 |
| 2.416861501050861E-004 | 1.303773445468698E-004 |
| 2.659962135935417E-004 | 1.434913860560557E-004 |
| 2.927372840104399E-004 | 1.579168333015959E-004 |
| 3.221524621065848E-004 | 1.737824308120268E-004 |
| 3.545091587136567E-004 | 1.912369772385846E-004 |
| 3.901015257528794E-004 | 2.104369801995472E-004 |
| 4.292531303446128E-004 | 2.315545163651429E-004 |
| 4.723198963289663E-004 | 2.547862698988276E-004 |
| 5.196933399385469E-004 | 2.803388917659880E-004 |
| 5.718041290385565E-004 | 3.084490831341708E-004 |
| 6.291259982909852E-004 | 3.393702954987812E-004 |
| 6.921800558353163E-004 | 3.733812529947126E-004 |
| 7.615395206374068E-004 | 4.107956823000303E-004 |
| 8.378349335733646E-004 | 4.519515565256377E-004 |
| 9.217598896219427E-004 | 4.972205728214805E-004 |
| 1.014077343276305E-003 | 5.470189367454152E-004 |
| 1.115626544497124E-003 | 6.017948498624778E-004 |
| 1.227330668261146E-003 | 6.620506425232219E-004 |
| 1.350205207064804E-003 | 7.283320137609991E-004 |
| 1.485367202678386E-003 | 8.012391688742011E-004 |
| 1.634045401075838E-003 | 8.814393910313034E-004 |
| 1.797591422857800E-003 | 9.696596323144401E-004 |
| 1.977492050717200E-003 | 1.066699480915965E-003 |
| 2.175382745651704E-003 | 1.173445722721939E-003 |
| 2.393062514797741E-003 | 1.290866579447097E-003 |
| 2.632510266048272E-003 | 1.420027054691764E-003 |
| 2.895902798132735E-003 | 1.562106028364620E-003 |
| 3.185634589705412E-003 | 1.718392880970025E-003 |
| 3.504339567343101E-003 | 1.890305926968752E-003 |
| 3.854915050343077E-003 | 2.079412741055081E-003 |
| 4.240548090001421E-003 | 2.287430201135887E-003 |
| 4.664744442819809E-003 | 2.516246935072797E-003 |
| 5.131360441033664E-003 | 2.767947762847742E-003 |
| 5.644638050193897E-003 | 3.044818608212012E-003 |
| 6.209243432507645E-003 | 3.349376452310271E-003 |
| 6.830309366514010E-003 | 3.684387563175189E-003 |
| 7.513481908728377E-003 | 4.052902194131302E-003 |
| 8.264971721452283E-003 | 4.458268163354259E-003 |
| 9.091610533365492E-003 | 4.904170587620440E-003 |
| 1.000091324617863E-002 | 5.394663102258958E-003 |
| 1.100114625195254E-002 | 5.934204716775331E-003 |
| 1.210140258215127E-002 | 6.527700355597702E-003 |
| 1.331168457160201E-002 | 7.180547761165371E-003 |
| 1.464299478885321E-002 | 7.898677100088602E-003 |
| 1.610743605957043E-002 | 8.688621847754751E-003 |
| 1.771832149227437E-002 | 9.557558039884874E-003 |
| 1.949029550665521E-002 | 1.051339044986023E-002 |
| 2.143946696472129E-002 | 1.156480320055175E-002 |
| 2.358355561506584E-002 | 1.272135975334891E-002 |
| 2.594205318156391E-002 | 1.399357179782822E-002 |

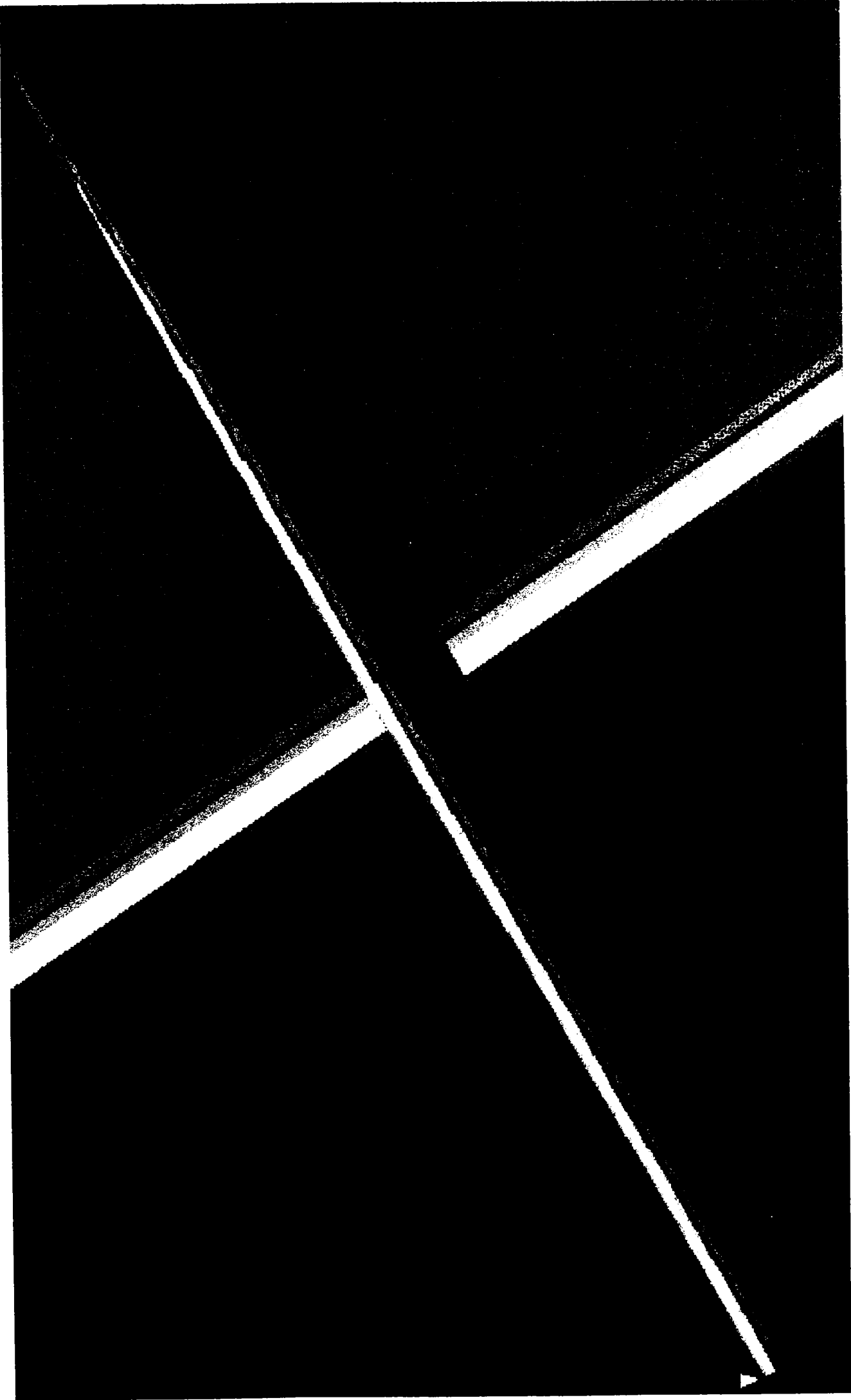
| | |
|------------------------|------------------------|
| 2.853640056094274E-002 | 1.539300489130456E-002 |
| 3.139018274011352E-002 | 1.693238115966702E-002 |
| 3.452934320524085E-002 | 1.862569495237019E-002 |
| 3.798241979172433E-002 | 2.048834006182668E-002 |
| 4.178080411918392E-002 | 2.253724966409314E-002 |
| 4.595902696995001E-002 | 2.479105364845605E-002 |
| 5.055507220540929E-002 | 2.727023425206561E-002 |
| 5.561072207399278E-002 | 2.999733301184455E-002 |
| 6.117193704997068E-002 | 3.299714178677169E-002 |



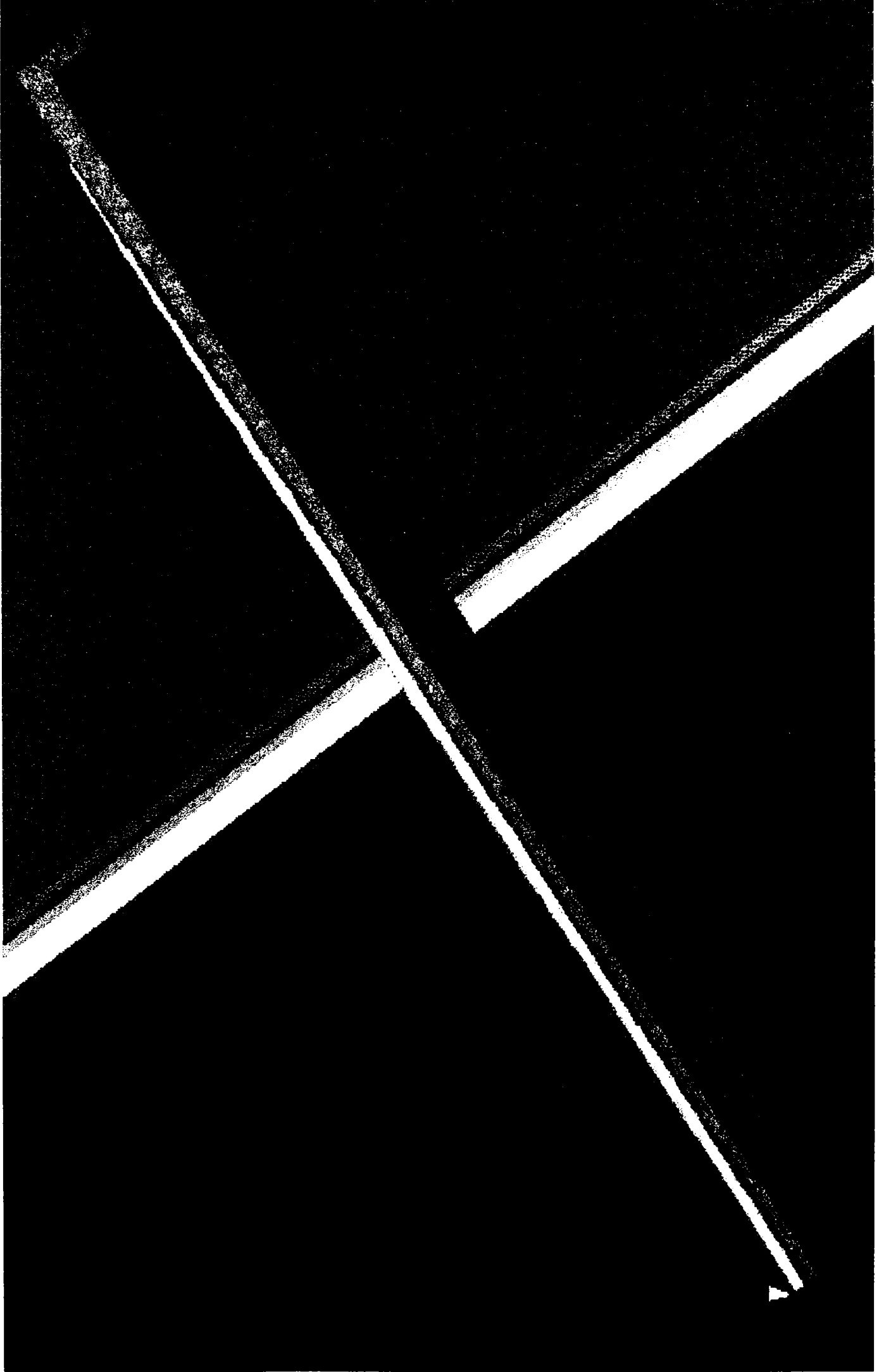
fişierul domlis.bmp



fișierul domnerv.bmp

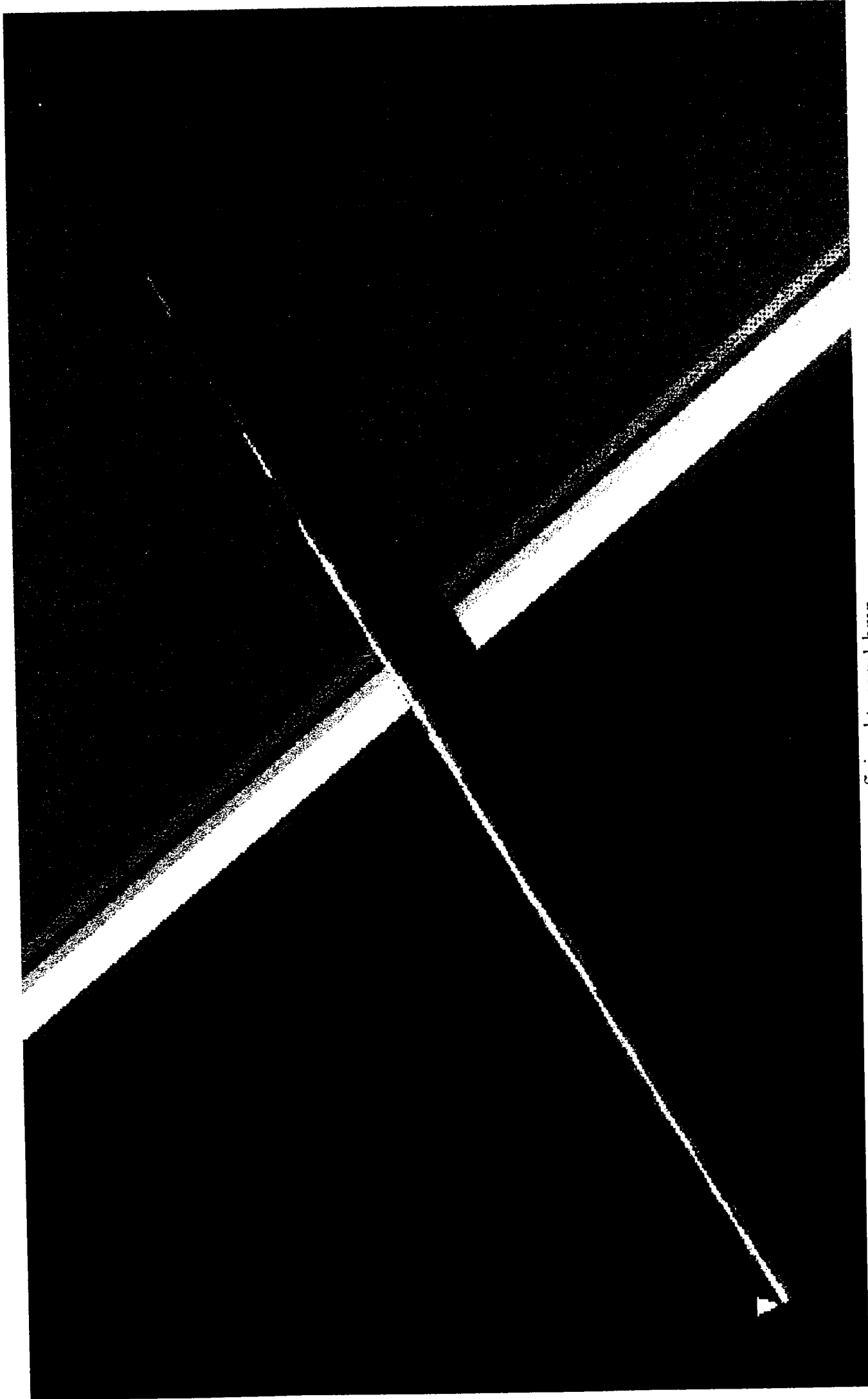


fişierul tplis1.bmp

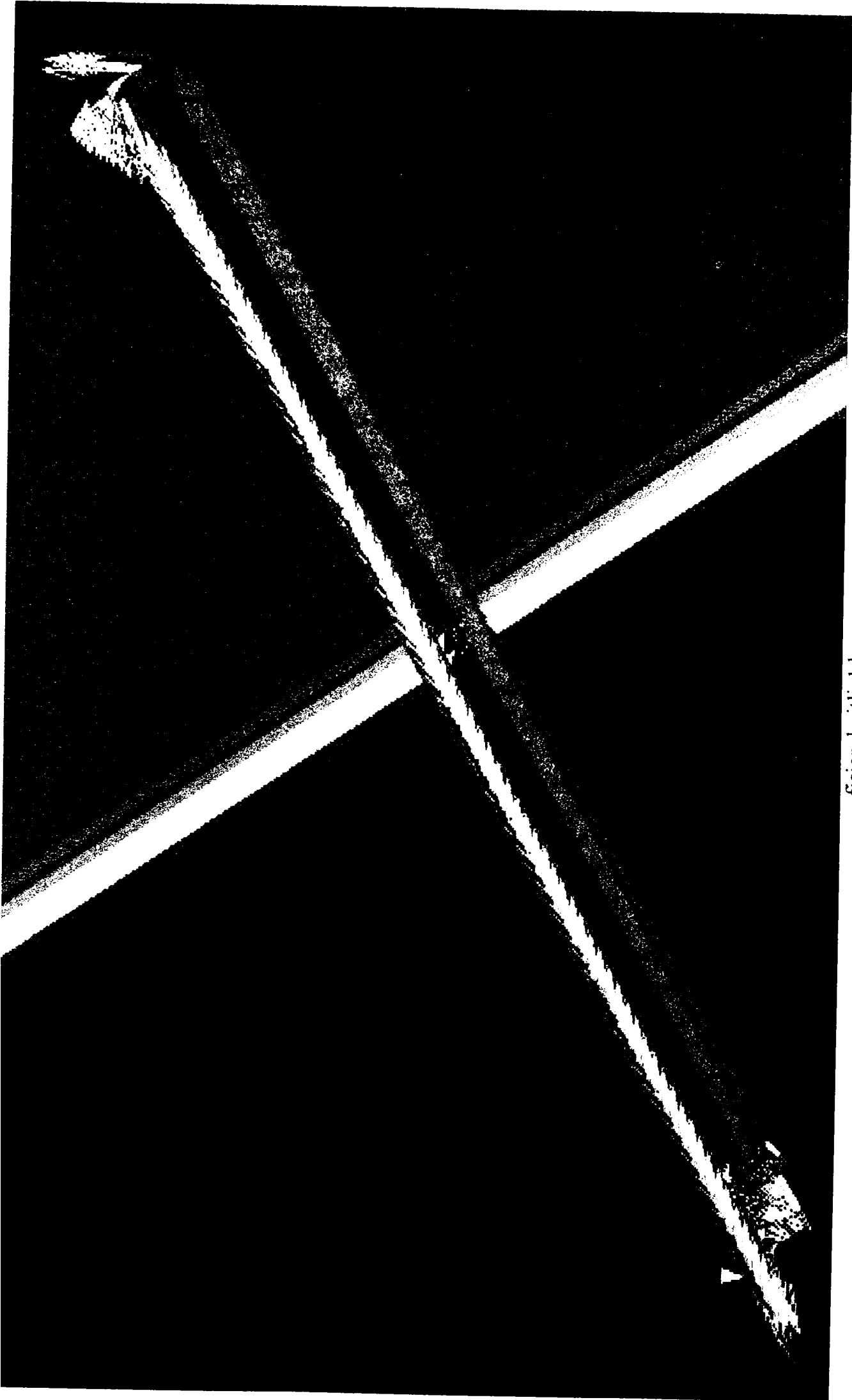


fișierul tp1is2.bmp

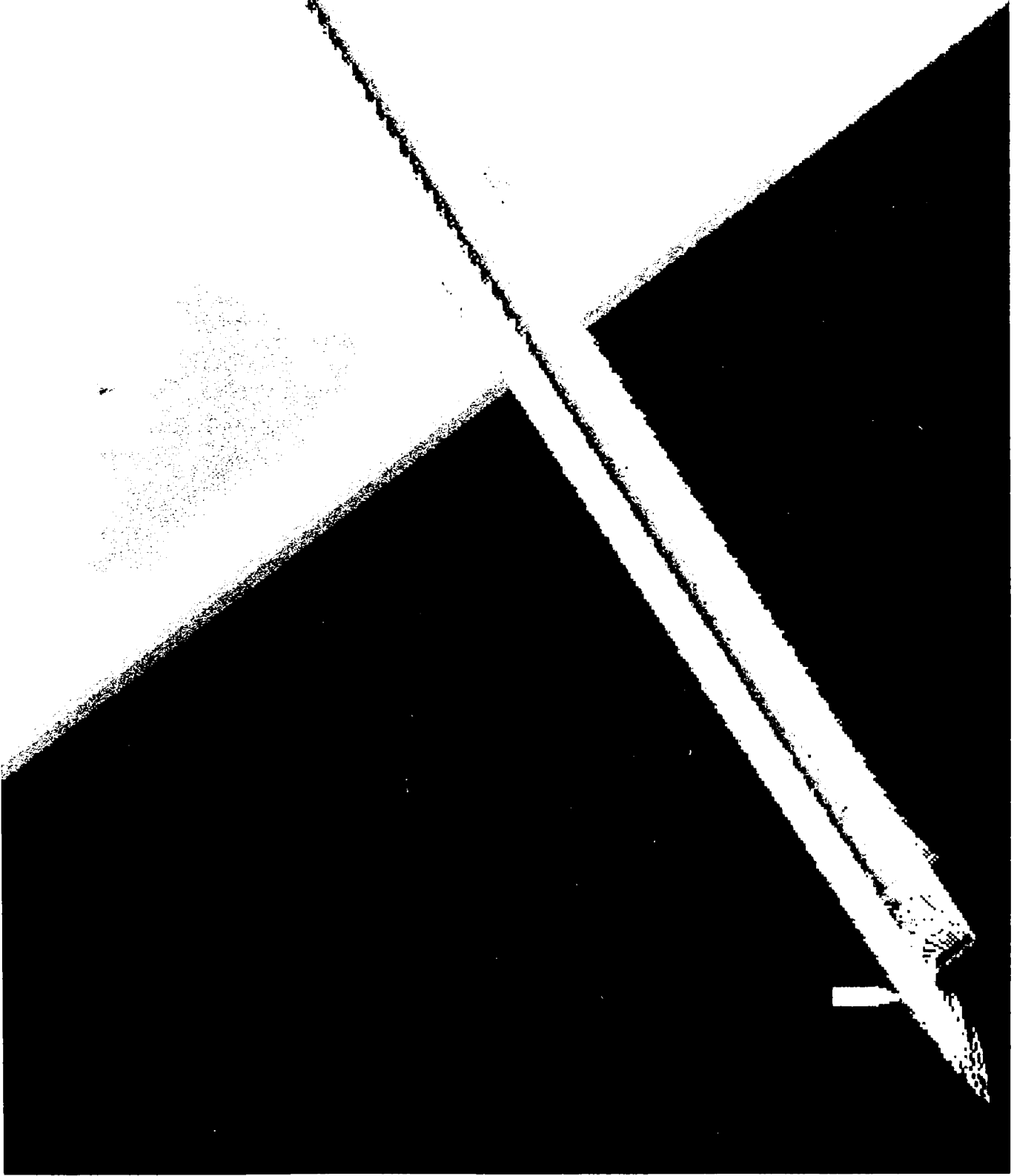
D-4



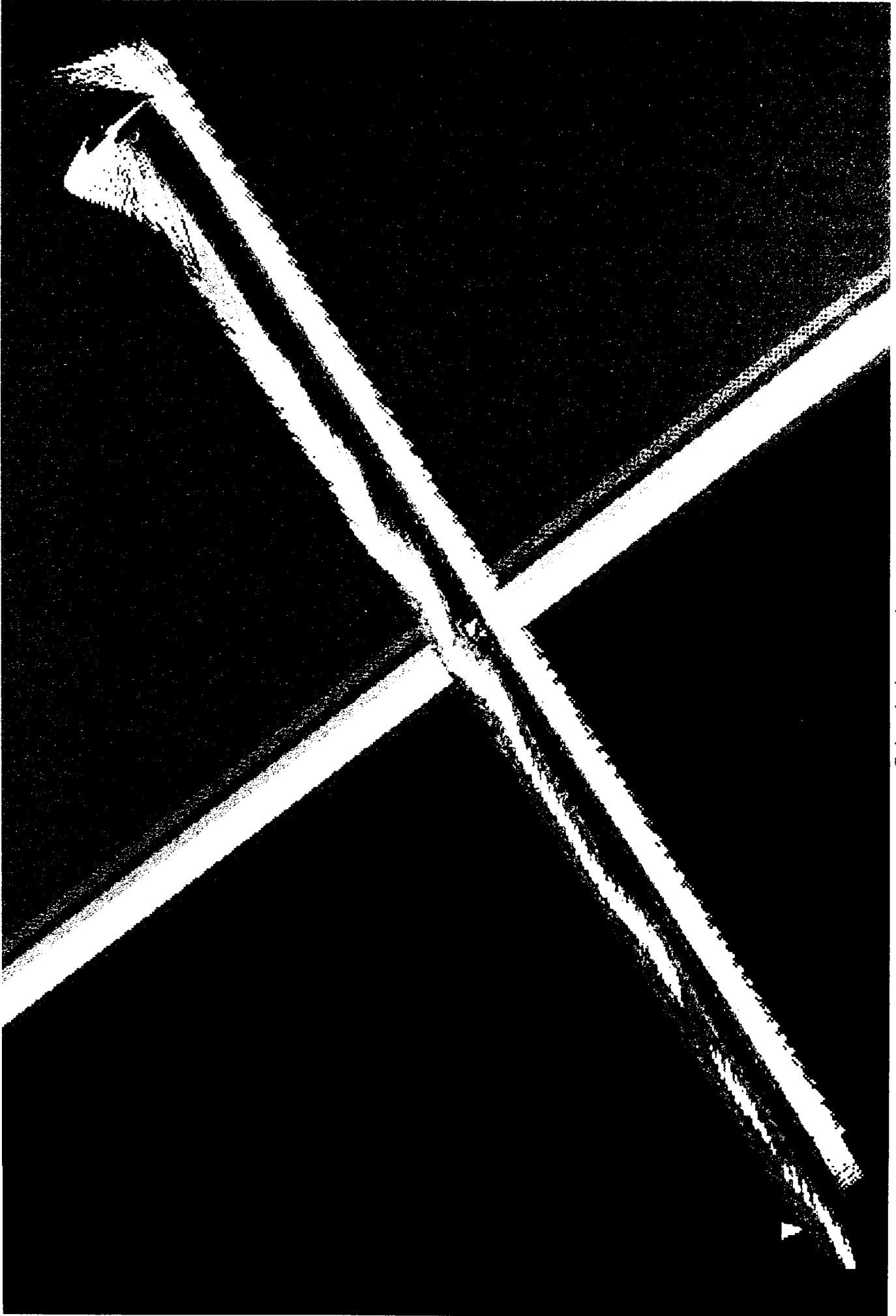
fișierul tpnerv1.bmp



fișierul vitilis1.bmp

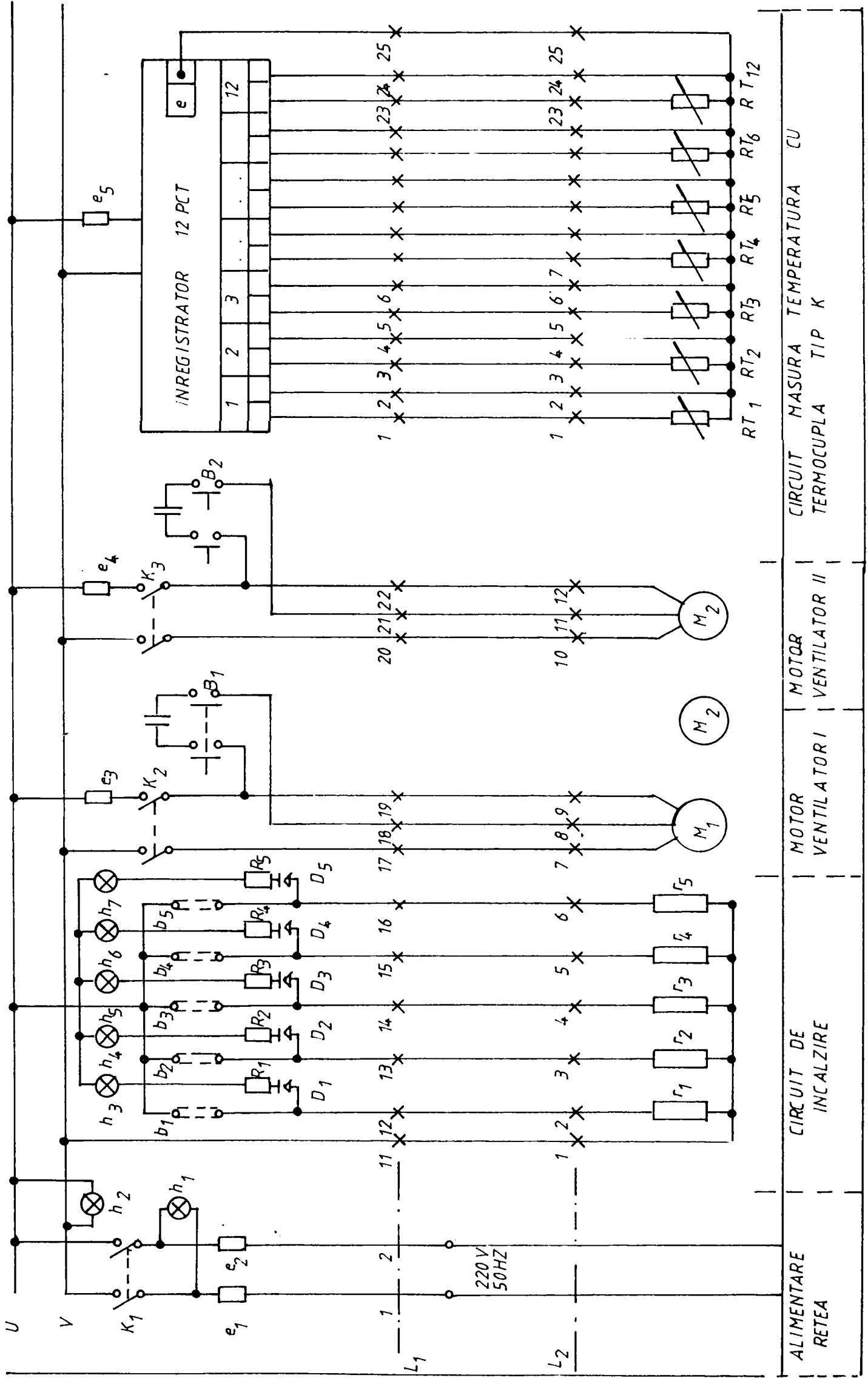


fișierul vitlis2.bmp



fișierul vitnerv1.bmp

SCHEMĂ DE COMANDĂ ȘI MĂSURĂ STAND EXPERIMENTAL



DULAP DE COMANDA

STAND EXPERIMENTAL

ALIMENTARE
RETEA

CIRCUIT DE
INCALZIRE

MOTOR
VENTILATORI I

MOTOR
VENTILATORI II

CIRCUIT MASAURA TEMPERATURA
CU TERMOCOPLA TIP K

Tub Field Φ 35 lis, m_1 variabil, $h = 6$ mm

| Nr. crt | Mărimi măsurate | | | | | | Proprietățile fluidului 1 | | | | | | Proprietățile fluidului 2 | | | | | |
|---------|---------------------------|-------------|---------------|----------------------------------|---------------|-------------|---------------------------|----------------------------------|---------------|---------------------------|---------------|----------------------------------|---------------------------|-------------|---------------|----------------------------------|--|--|
| | Proprietățile fluidului 1 | | | Proprietățile fluidului 2 | | | Proprietățile fluidului 1 | | | Proprietățile fluidului 2 | | | Proprietățile fluidului 1 | | | Proprietățile fluidului 2 | | |
| | m_1 kg/s | t_1 °C | t_1'' °C | Δp_1 N/m ² | m_1 kg/s | t_2 °C | t_2'' °C | Δp_2 N/m ² | m_1 kg/s | t_1 °C | t_1'' °C | Δp_1 N/m ² | m_1 kg/s | t_2 °C | t_2'' °C | Δp_2 N/m ² | | |
| 1 | 0,001138 | 59,2 | 29,48362 | 25,49729 | 0,00220 | 28,4 | 42,5 | 398,150 | 0,001138 | 59,2 | 29,48362 | 25,49729 | 0,00220 | 28,4 | 42,5 | 398,150 | | |
| 2 | 0,001168 | 61,7 | 32,96088 | 40,20727 | 0,00220 | 28,3 | 42,3 | 398,150 | 0,001168 | 61,7 | 32,96088 | 40,20727 | 0,00220 | 28,3 | 42,3 | 398,150 | | |
| 3 | 0,001449 | 64,3 | 40,79878 | 49,03325 | 0,00220 | 28,1 | 42,3 | 399,131 | 0,001449 | 64,3 | 40,79878 | 49,03325 | 0,00220 | 28,1 | 42,3 | 399,131 | | |
| 4 | 0,001684 | 69,1 | 49,87046 | 63,74323 | 0,00220 | 28,8 | 42,3 | 403,053 | 0,001684 | 69,1 | 49,87046 | 63,74323 | 0,00220 | 28,8 | 42,3 | 403,053 | | |
| 5 | 0,001861 | 70,5 | 52,59085 | 87,27919 | 0,00220 | 28,6 | 42,5 | 401,092 | 0,001861 | 70,5 | 52,59085 | 87,27919 | 0,00220 | 28,6 | 42,5 | 401,092 | | |
| 6 | 0,002049 | 71,7 | 54,26294 | 105,9118 | 0,00220 | 28,1 | 43 | 403,053 | 0,002049 | 71,7 | 54,26294 | 105,9118 | 0,00220 | 28,1 | 43 | 403,053 | | |
| 7 | 0,002198 | 72 | 56,50376 | 114,7378 | 0,00220 | 28,9 | 43,1 | 399,131 | 0,002198 | 72 | 56,50376 | 114,7378 | 0,00220 | 28,9 | 43,1 | 399,131 | | |
| 8 | 0,002351 | 72,3 | 57,20577 | 136,3124 | 0,00220 | 28,8 | 43,6 | 403,053 | 0,002351 | 72,3 | 57,20577 | 136,3124 | 0,00220 | 28,8 | 43,6 | 403,053 | | |
| 9 | 0,002503 | 74,1 | 59,72717 | 153,9644 | 0,00220 | 28,7 | 43,7 | 403,053 | 0,002503 | 74,1 | 59,72717 | 153,9644 | 0,00220 | 28,7 | 43,7 | 403,053 | | |

| Nr. crt | Mărimi calculate | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------|---------------------------|------------|------------|-----------------------------|---------------------------|----------|-----------|-------------------|---------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|---------------------------|--|--|--|
| | Proprietățile fluidului 1 | | | | Proprietățile fluidului 2 | | | | Proprietățile fluidului 1 | | | | Proprietățile fluidului 2 | | | |
| | Q_1 W | Q_2 W | Q_m W | k_2 W/m ² K | Φ | μ | λ | W_{zint} m/s | W_{zint} m/s | W_{zint} m/s | W_{zint} m/s | W_{zint} m/s | | | | |
| 1 | 34,152 | 31,078 | 32,61528 | 50,53383 | 0,921401 | 0,521413 | 4,970414 | 1,989546 | 1,989546 | 1,989546 | 1,910648 | | | | | |
| 2 | 33,910 | 30,858 | 32,38397 | 27,71831 | 0,821732 | 0,53532 | 2,655495 | 1,988578 | 1,988578 | 1,988578 | 1,909718 | | | | | |
| 3 | 34,394 | 31,299 | 32,8466 | 17,16781 | 0,619991 | 0,663982 | 1,326021 | 1,987914 | 1,987914 | 1,987914 | 1,909081 | | | | | |
| 4 | 32,699 | 29,756 | 31,2274 | 11,59719 | 0,455688 | 0,771478 | 0,770942 | 1,990095 | 1,990095 | 1,990095 | 1,911175 | | | | | |
| 5 | 33,668 | 30,638 | 32,15266 | 10,96354 | 0,408192 | 0,852901 | 0,659241 | 1,990133 | 1,990133 | 1,990133 | 1,911212 | | | | | |
| 6 | 36,090 | 32,842 | 34,4658 | 11,12287 | 0,381936 | 0,939013 | 0,607488 | 1,990095 | 1,990095 | 1,990095 | 1,911175 | | | | | |
| 7 | 34,394 | 31,299 | 32,8466 | 10,28696 | 0,343362 | 1,006979 | 0,523912 | 1,993074 | 1,993074 | 1,993074 | 1,914036 | | | | | |
| 8 | 35,848 | 32,621 | 34,23448 | 10,60683 | 0,331379 | 1,077481 | 0,504857 | 1,994287 | 1,994287 | 1,994287 | 1,915201 | | | | | |
| 9 | 36,332 | 33,062 | 34,69711 | 9,994148 | 0,302336 | 1,146852 | 0,446921 | 1,994287 | 1,994287 | 1,994287 | 1,915201 | | | | | |

| Nr. crt | Mărimi calculate pentru generalizarea rezultatelor | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------|--|------------|----------------|----------------------------------|---------------------------|-----------|-----------|----------------------------------|---------------------------|------------|----------------|----------------------------------|---------------------------|-----------|-----------|----------------------------------|----------|-----------|
| | Proprietățile fluidului 1 | | | | Proprietățile fluidului 2 | | | | Proprietățile fluidului 1 | | | | Proprietățile fluidului 2 | | | | | |
| | w_1 m/s | d_1 m | $Re_{incintă}$ | α_1 W/m ² K | w_2 m/s | Re_{ji} | Re_{2m} | α_2 W/m ² K | w_1 m/s | d_1 m | $Re_{incintă}$ | α_1 W/m ² K | w_2 m/s | Re_{ji} | Re_{2m} | α_2 W/m ² K | cf | Nu |
| 1 | 0,034976 | 0,193 | 92,18813 | 15,17352 | 1,950097 | 2987,654 | 1742,232 | -22,99287 | 0,034976 | 0,193 | 92,18813 | 15,17352 | 1,950097 | 2987,654 | 1742,232 | -22,99287 | 1,346459 | -21,7324 |
| 2 | 0,036242 | 0,193 | 95,3234 | 16,79288 | 1,949148 | 2986,201 | 1741,385 | -47,38843 | 0,036242 | 0,193 | 95,3234 | 16,79288 | 1,949148 | 2986,201 | 1741,385 | -47,38843 | 1,347114 | -42,72307 |
| 3 | 0,045681 | 0,193 | 114,6612 | 20,38235 | 1,948497 | 2985,204 | 1740,803 | 89,7938 | 0,045681 | 0,193 | 114,6612 | 20,38235 | 1,948497 | 2985,204 | 1740,803 | 89,7938 | 1,350883 | 78,71126 |
| 4 | 0,054199 | 0,193 | 134,1571 | 23,74742 | 1,950635 | 2988,478 | 1742,713 | 21,83884 | 0,054199 | 0,193 | 134,1571 | 23,74742 | 1,950635 | 2988,478 | 1742,713 | 21,83884 | 1,362664 | 19,02338 |
| 5 | 0,060277 | 0,193 | 144,2035 | 25,45506 | 1,950672 | 2988,536 | 1742,746 | 18,69664 | 0,060277 | 0,193 | 144,2035 | 25,45506 | 1,950672 | 2988,536 | 1742,746 | 18,69664 | 1,356007 | 16,0624 |
| 6 | 0,066635 | 0,193 | 157,1591 | 27,88619 | 1,950635 | 2988,478 | 1742,713 | 18,02879 | 0,066635 | 0,193 | 157,1591 | 27,88619 | 1,950635 | 2988,478 | 1742,713 | 18,02879 | 1,362664 | 15,12482 |
| 7 | 0,071723 | 0,193 | 167,1854 | 29,72204 | 1,953555 | 2992,952 | 1745,322 | 15,4086 | 0,071723 | 0,193 | 167,1854 | 29,72204 | 1,953555 | 2992,952 | 1745,322 | 15,4086 | 1,347385 | 12,71337 |
| 8 | 0,076842 | 0,193 | 175,5178 | 31,15012 | 1,954744 | 2994,774 | 1746,384 | 15,76092 | 0,076842 | 0,193 | 175,5178 | 31,15012 | 1,954744 | 2994,774 | 1746,384 | 15,76092 | 1,3598 | 12,83463 |
| 9 | 0,082298 | 0,193 | 186,1944 | 33,2693 | 1,954744 | 2994,774 | 1746,384 | 14,04676 | 0,082298 | 0,193 | 186,1944 | 33,2693 | 1,954744 | 2994,774 | 1746,384 | 14,04676 | 1,3598 | 11,25542 |

Tub Field Φ 35 lis, m_1 variabil, $h = 13$ mm

| Nr. crt | Mărimi măsurate | | | | | | | | | |
|---------|---------------------------|-------------|---------------|----------------------------------|---------------|---------------------------|---------------|----------------------------------|--|--|
| | Proprietățile fluidului 1 | | | | | Proprietățile fluidului 2 | | | | |
| | m_1 kg/s | t_1 °C | t_1'' °C | Δp_1 N/m ² | m_1 kg/s | t_2 °C | t_2'' °C | Δp_2 N/m ² | | |
| 1 | 0,00099 | 60,3 | 32,33474 | 7,84532 | 0,00224 | 29 | 40,3 | 357,943 | | |
| 2 | 0,001212 | 62,7 | 39,26026 | 19,6133 | 0,00224 | 28,9 | 40,5 | 356,962 | | |
| 3 | 0,001437 | 68 | 47,88244 | 34,32328 | 0,00224 | 28,8 | 40,6 | 353,039 | | |
| 4 | 0,001684 | 71 | 53,53944 | 53,93658 | 0,00224 | 28,8 | 40,8 | 355,001 | | |
| 5 | 0,00188 | 72,9 | 56,87257 | 72,56921 | 0,00224 | 28,8 | 41,1 | 354,020 | | |
| 6 | 0,002066 | 73,6 | 58,6614 | 87,27919 | 0,00224 | 28,8 | 41,4 | 353,039 | | |
| 7 | 0,002213 | 74,5 | 60,33341 | 108,8538 | 0,00224 | 28,9 | 41,7 | 355,001 | | |
| 8 | 0,002366 | 75,1 | 61,53778 | 124,5445 | 0,00224 | 29 | 42,1 | 354,020 | | |
| 9 | 0,002538 | 75,4 | 62,27046 | 149,0611 | 0,00224 | 29 | 42,6 | 358,923 | | |

Mărimi calculate

| Nr. crt | Q_1 W | Q_2 W | Q_m W | k_2 W/m ² K | Φ | μ | λ | w_{zint} m/s | w_{zinel} m/s |
|---------|------------|------------|------------|-----------------------------|----------|----------|-----------|-------------------|--------------------|
| | 1 | 27,959 | 25,443 | 26,70067 | 25,56354 | 0,853253 | 0,444036 | 2,870697 | 2,027867 |
| 2 | 28,701 | 26,118 | 27,40954 | 15,71497 | 0,662277 | 0,543831 | 1,440902 | 2,028217 | 1,947785 |
| 3 | 29,196 | 26,568 | 27,88212 | 10,80193 | 0,490109 | 0,644563 | 0,835643 | 2,028295 | 1,94786 |
| 4 | 29,691 | 27,019 | 28,3547 | 9,224452 | 0,395138 | 0,755234 | 0,609037 | 2,028915 | 1,948455 |
| 5 | 30,433 | 27,694 | 29,06356 | 8,658577 | 0,347079 | 0,843335 | 0,511954 | 2,029923 | 1,949424 |
| 6 | 31,175 | 28,370 | 29,77243 | 8,549919 | 0,318446 | 0,926871 | 0,459968 | 2,030932 | 1,950392 |
| 7 | 31,670 | 28,820 | 30,24501 | 8,389225 | 0,296691 | 0,992895 | 0,421311 | 2,032211 | 1,951621 |
| 8 | 32,412 | 29,495 | 30,95388 | 8,413836 | 0,280953 | 1,061449 | 0,395257 | 2,033878 | 1,953222 |
| 9 | 33,650 | 30,621 | 32,13532 | 8,664554 | 0,270231 | 1,138277 | 0,379562 | 2,035428 | 1,95471 |

Mărimi calculate pentru generalizarea rezultatelor

| Nr. crt | w_1 m/s | d_1 m | $Re_{incintă}$ | α_1 W/m ² K | w_2 m/s | Re_{zi} | Re_{zint} | Re_{zm} | α_2 W/m ² K | cf | Nu |
|---------|--------------|------------|----------------|----------------------------------|--------------|-----------|-------------|-----------|----------------------------------|-----------|----------|
| | 1 | 0,030621 | 0,193 | 80,70939 | 14,08395 | 1,987658 | 3045,201 | 4314,611 | 1775,79 | -34,41532 | 1,172306 |
| 2 | 0,038046 | 0,193 | 100,0692 | 17,93937 | 1,988001 | 3045,725 | 4315,354 | 1776,096 | 98,93465 | 1,168893 | 89,1946 |
| 3 | 0,046056 | 0,193 | 115,6016 | 21,08309 | 1,988077 | 3045,842 | 4315,521 | 1776,164 | 21,26321 | 1,156003 | 18,63886 |
| 4 | 0,054659 | 0,193 | 135,2938 | 24,21143 | 1,988685 | 3046,774 | 4316,84 | 1776,707 | 14,54662 | 1,16207 | 12,67127 |
| 5 | 0,0615 | 0,193 | 147,1287 | 26,18792 | 1,989673 | 3048,288 | 4318,985 | 1777,59 | 12,68682 | 1,158284 | 10,89933 |
| 6 | 0,067831 | 0,193 | 159,9781 | 28,58947 | 1,990662 | 3049,802 | 4321,131 | 1778,473 | 11,99486 | 1,154502 | 10,0628 |
| 7 | 0,072923 | 0,193 | 169,9826 | 30,45917 | 1,991916 | 3051,723 | 4323,852 | 1779,593 | 11,40634 | 1,160185 | 9,411168 |
| 8 | 0,078152 | 0,193 | 178,5107 | 31,95696 | 1,99355 | 3054,227 | 4327,4 | 1781,053 | 11,26137 | 1,156032 | 9,170501 |
| 9 | 0,083915 | 0,193 | 189,8533 | 33,99279 | 1,995069 | 3056,554 | 4330,698 | 1782,411 | 11,47327 | 1,171151 | 9,193324 |

Tub Field Φ 35 lis, m_1 variabil, $h = 22$ mm

Mărimi măsurate

| Nr. crt | Proprietățile fluidului 1 | | | | Proprietățile fluidului 2 | | | |
|---------|---------------------------|-------------|---------------|----------------------------------|---------------------------|-------------|---------------|----------------------------------|
| | m_1 kg/s | t_1 °C | t_1'' °C | Δp_1 N/m ² | m_2 kg/s | t_2 °C | t_2'' °C | Δp_2 N/m ² |
| 1 | 0,001153 | 56,3 | 30,58501 | 31,38128 | 0,00228 | 27,8 | 39,7 | 370,691 |
| 2 | 0,001212 | 58,6 | 32,29026 | 26,47796 | 0,00228 | 27,1 | 39,9 | 368,730 |
| 3 | 0,001485 | 61,5 | 40,18601 | 51,97525 | 0,00228 | 27,4 | 40,1 | 368,730 |
| 4 | 0,001684 | 63,4 | 44,30681 | 70,60788 | 0,00228 | 27,3 | 40,2 | 368,730 |
| 5 | 0,001899 | 65,2 | 48,39948 | 91,20185 | 0,00228 | 27,5 | 40,3 | 367,749 |
| 6 | 0,002066 | 67,4 | 51,48065 | 101,9892 | 0,00228 | 27,4 | 40,6 | 371,672 |
| 7 | 0,002229 | 68,6 | 53,62069 | 122,5831 | 0,00228 | 27,4 | 40,8 | 370,691 |
| 8 | 0,002381 | 69,2 | 54,54784 | 146,1191 | 0,00228 | 27,4 | 41,4 | 373,633 |
| 9 | 0,002524 | 69,3 | 55,97002 | 154,9451 | 0,00228 | 28,1 | 41,6 | 371,672 |

Mărimi calculate

| Nr. crt | Q_1 W | Q_2 W | Q_m W | k_2 W/m ² K | Φ | μ | χ | W_{zint} m/s | W_{zinel} m/s |
|---------|------------|------------|------------|-----------------------------|----------|----------|----------|-------------------|--------------------|
| | 1 | 29,950 | 27,255 | 28,60241 | 33,21268 | 0,861678 | 0,508533 | 3,173324 | 2,056481 |
| 2 | 32,215 | 29,316 | 30,76562 | 26,22981 | 0,797645 | 0,534628 | 2,383817 | 2,054844 | 1,973357 |
| 3 | 31,964 | 29,087 | 30,52526 | 16,40106 | 0,596917 | 0,654783 | 1,217038 | 2,05652 | 1,974966 |
| 4 | 32,467 | 29,545 | 31,00597 | 13,97085 | 0,505097 | 0,742454 | 0,914287 | 2,05652 | 1,974966 |
| 5 | 32,215 | 29,316 | 30,76562 | 12,10375 | 0,425583 | 0,837232 | 0,702431 | 2,057546 | 1,975951 |
| 6 | 33,222 | 30,232 | 31,72704 | 11,21754 | 0,380074 | 0,911186 | 0,598164 | 2,058137 | 1,976518 |
| 7 | 33,725 | 30,690 | 32,20775 | 10,71842 | 0,347215 | 0,983041 | 0,529772 | 2,058827 | 1,977181 |
| 8 | 35,235 | 32,064 | 33,64989 | 11,00678 | 0,334756 | 1,049989 | 0,509337 | 2,060779 | 1,979056 |
| 9 | 33,977 | 30,919 | 32,44811 | 10,49438 | 0,308984 | 1,112918 | 0,458167 | 2,063835 | 1,981991 |

Mărimi calculate pentru generalizarea rezultatelor

| Nr. crt | w_1 m/s | d_1 m | $Re_{incintă}$ | α_1 W/m ² K | w_2 m/s | Re_{z_1} | Re_{z_2} | Re_{z_m} | α_2 W/m ² K | cf | Nu |
|---------|--------------|------------|----------------|----------------------------------|--------------|------------|------------|------------|----------------------------------|-----------|-----------|
| | 1 | 0,035343 | 0,193 | 93,15544 | 15,43119 | 2,015704 | 3088,168 | 4375,491 | 1800,846 | -31,13808 | 1,189671 |
| 2 | 0,037394 | 0,193 | 98,35289 | 17,19487 | 2,0141 | 3085,711 | 4372,009 | 1799,413 | -56,43857 | 1,184318 | -50,88223 |
| 3 | 0,046562 | 0,193 | 116,8735 | 20,66063 | 2,015743 | 3088,228 | 4375,575 | 1800,881 | 68,99342 | 1,183353 | 60,4781 |
| 4 | 0,053278 | 0,193 | 131,8758 | 23,07387 | 2,015743 | 3088,228 | 4375,575 | 1800,881 | 33,37811 | 1,183353 | 29,07501 |
| 5 | 0,060608 | 0,193 | 144,9957 | 25,2753 | 2,016748 | 3089,768 | 4377,757 | 1801,779 | 22,40899 | 1,179618 | 19,25171 |
| 6 | 0,066483 | 0,193 | 156,7993 | 27,65796 | 2,017328 | 3090,655 | 4379,014 | 1802,296 | 18,37423 | 1,191858 | 15,41462 |
| 7 | 0,072071 | 0,193 | 167,9983 | 29,72585 | 2,018004 | 3091,692 | 4380,483 | 1802,901 | 16,39616 | 1,188315 | 13,52819 |
| 8 | 0,077138 | 0,193 | 176,1937 | 31,14778 | 2,019917 | 3094,623 | 4384,635 | 1804,61 | 16,66112 | 1,196612 | 13,56769 |
| 9 | 0,081939 | 0,193 | 185,3831 | 32,87007 | 2,022913 | 3099,213 | 4391,139 | 1807,287 | 15,13527 | 1,188567 | 12,12762 |

Tub Field Φ 35 lis, m_1 variabil, rugos în interior

| Nr. crt | Mărimi măsurate | | | | | | | | | |
|---------|---------------------------|-------------|---------------|----------------------------------|---------------|---------------------------|---------------|----------------------------------|--|--|
| | Proprietățile fluidului 1 | | | | | Proprietățile fluidului 2 | | | | |
| | m_1 kg/s | t_1 °C | t_1'' °C | Δp_1 N/m ² | m_1 kg/s | t_2 °C | t_2'' °C | Δp_2 N/m ² | | |
| 1 | 0,001075 | 60,3 | 34,37991 | 10,78731 | 0,00218 | 28,4 | 40,1 | 85,318 | | |
| 2 | 0,001198 | 64,6 | 40,94829 | 24,51663 | 0,00218 | 28,4 | 40,3 | 370,691 | | |
| 3 | 0,001461 | 67,2 | 47,64653 | 30,40062 | 0,00218 | 28,5 | 40,5 | 368,730 | | |
| 4 | 0,001673 | 70,2 | 52,84109 | 47,07192 | 0,00218 | 28,4 | 40,6 | 369,711 | | |
| 5 | 0,001889 | 71,6 | 56,10068 | 66,68522 | 0,00218 | 28,5 | 40,8 | 373,633 | | |
| 6 | 0,002041 | 72,3 | 57,60043 | 90,22118 | 0,00218 | 28,3 | 40,9 | 371,672 | | |
| 7 | 0,002229 | 74,2 | 60,52985 | 106,8925 | 0,00218 | 28,2 | 41 | 371,672 | | |
| 8 | 0,002366 | 74,8 | 61,72051 | 124,5445 | 0,00218 | 28,2 | 41,2 | 372,653 | | |
| 9 | 0,002646 | 74,7 | 63,00134 | 153,9644 | 0,00218 | 28,3 | 41,3 | 374,614 | | |

| Nr. crt | Mărimi calculate | | | | | | | | | |
|---------|------------------|------------|------------|-----------------------------|----------|----------|-----------|-------------------|--------------------|----------|
| | Q_1 W | Q_2 W | Q_m W | k_2 W/m ² K | Φ | μ | λ | w_{zint} m/s | w_{zinel} m/s | |
| | 1 | 28,133 | 25,601 | 26,86692 | 20,3457 | 0,775978 | 0,49603 | 2,11898 | 1,973464 | 1,895204 |
| 2 | 28,614 | 26,039 | 27,32618 | 13,59491 | 0,623961 | 0,552895 | 1,270268 | 1,968564 | 1,890498 | |
| 3 | 28,854 | 26,257 | 27,55581 | 10,73201 | 0,482521 | 0,674397 | 0,822105 | 1,969563 | 1,891457 | |
| 4 | 29,335 | 26,695 | 28,01508 | 9,200047 | 0,396597 | 0,772318 | 0,615398 | 1,969544 | 1,891439 | |
| 5 | 29,576 | 26,914 | 28,24471 | 8,565486 | 0,34343 | 0,872069 | 0,507415 | 1,970429 | 1,892289 | |
| 6 | 30,297 | 27,570 | 28,9336 | 8,43688 | 0,319048 | 0,941943 | 0,462721 | 1,970146 | 1,892018 | |
| 7 | 30,778 | 28,008 | 29,39287 | 7,936448 | 0,283804 | 1,028952 | 0,398468 | 1,970146 | 1,892018 | |
| 8 | 31,259 | 28,445 | 29,85213 | 7,868975 | 0,268045 | 1,092222 | 0,372194 | 1,970768 | 1,892614 | |
| 9 | 31,259 | 28,445 | 29,85213 | 7,756581 | 0,240781 | 1,221141 | 0,328146 | 1,97137 | 1,893193 | |

| Nr. crt | Mărimi calculate pentru generalizarea rezultatelor | | | | | | | | | | |
|---------|--|------------|----------------|----------------------------------|--------------|----------|------------|-----------|----------------------------------|----------|----------|
| | w_1 m/s | d_1 m | $Re_{incintă}$ | α_1 W/m ² K | w_2 m/s | Re_z | Re_{zin} | Re_{zm} | α_2 W/m ² K | cf | Nu |
| | 1 | 0,033348 | 0,193 | 87,8978 | 15,19648 | 1,934334 | 2963,505 | 4198,86 | 1728,149 | -71,2533 | 0,293009 |
| 2 | 0,037797 | 0,193 | 99,41337 | 18,06218 | 1,929531 | 2956,146 | 4188,434 | 1723,858 | 49,03187 | 1,276242 | 44,20471 |
| 3 | 0,046758 | 0,193 | 117,3652 | 21,30107 | 1,93051 | 2957,646 | 4190,559 | 1724,733 | 20,7906 | 1,268846 | 18,22458 |
| 4 | 0,054203 | 0,193 | 134,1647 | 24,02346 | 1,930491 | 2957,618 | 4190,519 | 1724,716 | 14,55142 | 1,272233 | 12,67545 |
| 5 | 0,061618 | 0,193 | 147,4105 | 26,16887 | 1,931359 | 2958,946 | 4192,401 | 1725,491 | 12,49212 | 1,285154 | 10,73206 |
| 6 | 0,066756 | 0,193 | 157,4444 | 28,19196 | 1,931082 | 2958,522 | 4191,801 | 1725,244 | 11,83956 | 1,278591 | 9,932514 |
| 7 | 0,073432 | 0,193 | 171,1698 | 30,68241 | 1,931082 | 2958,522 | 4191,801 | 1725,244 | 10,55962 | 1,278591 | 8,712562 |
| 8 | 0,078139 | 0,193 | 178,48 | 32,02968 | 1,931691 | 2959,456 | 4193,123 | 1725,788 | 10,299 | 1,28156 | 8,386807 |
| 9 | 0,087487 | 0,193 | 197,9351 | 35,19324 | 1,932282 | 2960,36 | 4194,405 | 1726,316 | 9,839375 | 1,287912 | 7,884115 |

Tub Field Φ 35 lis, m_1 variabil, rugos în exterior

| Nr. crt | Mărimi măsurate | | | | | | | | | |
|---------|---------------------------|----------------|----------------|----------------------------------|-----------------|---------------------------|----------------|----------------------------------|--|--|
| | Proprietățile fluidului I | | | | | Proprietățile fluidului 2 | | | | |
| | m_1 kg/s | t_{f1} °C | t_{f2} °C | Δp_1 N/m ² | μ_1 kg/s | t_{f1} °C | t_{f2} °C | Δp_2 N/m ² | | |
| 1 | 0,001122 | 57,7 | 28,85569 | 17,65197 | 0,00220 | 26,8 | 40,3 | 406,976 | | |
| 2 | 0,001255 | 62,2 | 36,40086 | 28,43928 | 0,00220 | 27,1 | 40,6 | 404,034 | | |
| 3 | 0,001554 | 67,9 | 46,75666 | 44,12993 | 0,00220 | 27,1 | 40,8 | 406,976 | | |
| 4 | 0,001785 | 70,4 | 52,25777 | 63,74323 | 0,00220 | 27,4 | 40,9 | 409,918 | | |
| 5 | 0,002023 | 73 | 56,40746 | 82,37586 | 0,00220 | 27 | 41 | 405,015 | | |
| 6 | 0,002205 | 73,6 | 58,26833 | 109,8345 | 0,00220 | 27 | 41,1 | 406,976 | | |
| 7 | 0,002359 | 74,4 | 60,06498 | 127,4865 | 0,00220 | 27,2 | 41,3 | 406,976 | | |
| 8 | 0,002374 | 73,3 | 57,5388 | 145,1384 | 0,00220 | 26,3 | 41,9 | 409,918 | | |
| 9 | 0,002672 | 72,8 | 59,15712 | 157,8871 | 0,00220 | 27,1 | 42,3 | 405,995 | | |

| Nr. crt | Mărimi calculate | | | | | | | | | |
|---------|------------------|------------|------------|-----------------------------|----------|----------|----------|-------------------|--------------------|----------|
| | Q_1 W | Q_2 W | Q_m W | k_2 W/m ² K | Φ | μ | χ | w_{zint} m/s | w_{zinel} m/s | |
| | 1 | 32,699 | 29,756 | 31,2274 | 38,45289 | 0,891467 | 0,514319 | 3,834325 | 1,977119 | 1,898713 |
| 2 | 32,699 | 29,756 | 31,2274 | 18,92532 | 0,701942 | 0,575026 | 1,687906 | 1,979111 | 1,900627 | |
| 3 | 33,183 | 30,197 | 31,69003 | 12,09446 | 0,494899 | 0,712042 | 0,871111 | 1,979699 | 1,901191 | |
| 4 | 32,699 | 29,756 | 31,2274 | 10,18899 | 0,402926 | 0,817714 | 0,639031 | 1,980931 | 1,902375 | |
| 5 | 33,910 | 30,858 | 32,38397 | 9,336089 | 0,344475 | 0,927201 | 0,516396 | 1,980059 | 1,901537 | |
| 6 | 34,152 | 31,078 | 32,61528 | 9,050404 | 0,3142 | 1,010621 | 0,459274 | 1,980344 | 1,90181 | |
| 7 | 34,152 | 31,078 | 32,61528 | 8,747972 | 0,290041 | 1,080885 | 0,415069 | 1,981633 | 1,903049 | |
| 8 | 37,785 | 34,385 | 36,08499 | 10,19253 | 0,320254 | 1,087662 | 0,480596 | 1,980609 | 1,902065 | |
| 9 | 36,816 | 33,503 | 35,15974 | 9,946184 | 0,285097 | 1,224323 | 0,416632 | 1,984555 | 1,905855 | |

Mărimi calculate pentru generalizarea rezultatelor

| Nr. crt | w_1 m/s | d_j m | $Re_{incintă}$ | α_1 W/m ² K | w_2 m/s | Re_{z1} | Re_{z2m} | α_2 W/m ² K | cf | Nu | |
|---------|--------------|------------|----------------|----------------------------------|--------------|-----------|------------|----------------------------------|-----------|----------|-----------|
| | 1 | 0,034387 | 0,193 | 90,63595 | 15,11925 | 1,937916 | 2968,993 | 1731,35 | -26,66545 | 1,384957 | -25,20364 |
| | 2 | 0,039174 | 0,193 | 103,0354 | 18,25589 | 1,939869 | 2971,984 | 1733,094 | 4147,128 | 1,373561 | 3738,846 |
| 3 | 0,049709 | 0,193 | 124,7715 | 22,35967 | 1,940445 | 2972,867 | 1733,609 | 25,16631 | 1,383152 | 22,06023 | |
| 4 | 0,057766 | 0,193 | 142,986 | 25,23087 | 1,941653 | 2974,718 | 1734,688 | 16,64332 | 1,392284 | 14,49767 | |
| 5 | 0,06615 | 0,193 | 158,2533 | 27,75121 | 1,940798 | 2973,408 | 1733,925 | 13,792 | 1,376235 | 11,8488 | |
| 6 | 0,072344 | 0,193 | 170,6238 | 30,10744 | 1,941077 | 2973,835 | 1734,174 | 12,72359 | 1,382701 | 10,67415 | |
| 7 | 0,077657 | 0,193 | 181,019 | 32,03758 | 1,942341 | 2975,772 | 1735,303 | 11,85747 | 1,381801 | 9,783387 | |
| 8 | 0,077714 | 0,193 | 177,5105 | 31,70418 | 1,941337 | 2974,233 | 1734,406 | 14,74517 | 1,39251 | 12,00747 | |
| 9 | 0,087612 | 0,193 | 198,2175 | 34,96296 | 1,945205 | 2980,159 | 1737,861 | 13,6853 | 1,376443 | 10,96578 | |

Tub Field Φ 35 lis, m_1 variabil, rugos în interior și exterior

| Nr. crt | Mărimi măsurate | | | | | | Proprietățile fluidului 1 | | | | | | Proprietățile fluidului 2 | | | | | |
|---------|---------------------------|-------------|---------------|----------------------------------|---------------|-------------|---------------------------|----------------------------------|---------------|---------------------------|---------------|----------------------------------|---------------------------|-------------|---------------|----------------------------------|--|--|
| | Proprietățile fluidului 1 | | | Proprietățile fluidului 2 | | | Proprietățile fluidului 1 | | | Proprietățile fluidului 2 | | | Proprietățile fluidului 1 | | | Proprietățile fluidului 2 | | |
| | m_1 kg/s | t_1 °C | t_1'' °C | Δp_1 N/m ² | m_2 kg/s | t_2 °C | t_2'' °C | Δp_2 N/m ² | m_1 kg/s | t_1 °C | t_1'' °C | Δp_1 N/m ² | m_2 kg/s | t_2 °C | t_2'' °C | Δp_2 N/m ² | | |
| 1 | 0,001309 | 60,4 | 33,30892 | 12,74865 | 0,00212 | 29,1 | 44,4 | 432,473 | 0,001387 | 62,6 | 36,36076 | 29,41995 | 29 | 44,7 | 437,377 | | | |
| 2 | 0,001531 | 65,1 | 41,32638 | 37,26527 | 0,00212 | 29,1 | 44,8 | 434,435 | 0,001765 | 66,7 | 45,94154 | 56,87857 | 29,2 | 45 | 433,454 | | | |
| 3 | 0,001997 | 67,2 | 48,97447 | 77,47254 | 0,00212 | 29,4 | 45,1 | 433,454 | 0,00219 | 70,3 | 53,25101 | 97,08584 | 29,2 | 45,3 | 429,531 | | | |
| 4 | 0,002351 | 70,4 | 54,82021 | 109,8345 | 0,00212 | 29,6 | 45,4 | 424,628 | 0,002517 | 70 | 54,79881 | 138,2738 | 29,1 | 45,6 | 424,628 | | | |
| 5 | 0,0042 | 71,4 | 62,29035 | 160,8291 | 0,00212 | 29,3 | 45,8 | 424,628 | | | | | | | | | | |

Mărimi calculate

| Nr. crt | Q_1 W | Q_2 W | Q_m W | k_2 W/m ² K | Φ | μ | λ | w_{zint} m/s | w_{zinel} m/s |
|---------|------------|------------|------------|-----------------------------|----------|----------|-----------|-------------------|--------------------|
| 1 | 35,830 | 32,605 | 34,21754 | 34,28222 | 0,826581 | 0,620617 | 2,930097 | 1,931031 | 1,854453 |
| 2 | 36,767 | 33,458 | 35,11212 | 26,19029 | 0,745788 | 0,657517 | 2,112857 | 1,931561 | 1,854962 |
| 3 | 36,767 | 33,458 | 35,11212 | 19,50679 | 0,630661 | 0,72571 | 1,425803 | 1,93224 | 1,855615 |
| 4 | 37,001 | 33,671 | 35,33576 | 16,35451 | 0,528649 | 0,836413 | 1,037179 | 1,933194 | 1,856531 |
| 5 | 36,767 | 33,458 | 35,11212 | 14,9251 | 0,46046 | 0,946625 | 0,836327 | 1,934129 | 1,857429 |
| 6 | 37,703 | 34,310 | 36,00669 | 12,98935 | 0,39615 | 1,037734 | 0,663954 | 1,934204 | 1,8575 |
| 7 | 37,001 | 33,671 | 35,33576 | 12,44906 | 0,364674 | 1,114433 | 0,592542 | 1,935856 | 1,859087 |
| 8 | 38,640 | 35,162 | 36,90127 | 13,03494 | 0,354942 | 1,192792 | 0,57967 | 1,93492 | 1,858189 |
| 9 | 38,640 | 35,162 | 36,90127 | 11,20295 | 0,206644 | 1,990402 | 0,298558 | 1,936167 | 1,859386 |

Mărimi calculate pentru generalizarea rezultatelor

| Nr. crt | w_1 m/s | d_1 m | $Re_{incintă}$ | α_1 W/m ² K | w_2 m/s | Re_{z1} | Re_{z2m} | α_2 W/m ² K | cf | Nu |
|---------|--------------|------------|----------------|----------------------------------|--------------|-----------|------------|----------------------------------|----------|-----------|
| 1 | 0,040574 | 0,193 | 106,9429 | 17,1909 | 1,892742 | 2899,783 | 4108,576 | -37,47255 | 1,558529 | -35,41829 |
| 2 | 0,043332 | 0,193 | 113,9724 | 19,31632 | 1,893262 | 2900,58 | 4109,704 | -86,73658 | 1,575767 | -78,19742 |
| 3 | 0,048376 | 0,193 | 121,4265 | 21,14849 | 1,893927 | 2901,6 | 4111,15 | 170,6905 | 1,564617 | 149,6235 |
| 4 | 0,056276 | 0,193 | 139,2972 | 23,92847 | 1,894862 | 2903,032 | 4113,179 | 47,58893 | 1,560315 | 41,45377 |
| 5 | 0,06402 | 0,193 | 153,1581 | 26,09182 | 1,895779 | 2904,436 | 4115,168 | 33,11725 | 1,559561 | 28,45125 |
| 6 | 0,07095 | 0,193 | 167,3345 | 28,93271 | 1,895852 | 2904,548 | 4115,327 | 22,8345 | 1,545388 | 19,15646 |
| 7 | 0,076374 | 0,193 | 178,0283 | 30,8256 | 1,897471 | 2907,029 | 4118,842 | 20,33675 | 1,526443 | 16,77949 |
| 8 | 0,08167 | 0,193 | 186,5463 | 32,22493 | 1,896554 | 2905,624 | 4116,852 | 21,31563 | 1,52718 | 17,358 |
| 9 | 0,138058 | 0,193 | 312,3478 | 49,06249 | 1,897777 | 2907,497 | 4119,505 | 14,3507 | 1,526197 | 11,49896 |

Tub Field Φ 30 lis, m_1 variabil, $h = 6$ mm

| Nr. crt | Mărimi măsurate | | | | | | | | | |
|---------|---------------------------|-------------|---------------|----------------------------------|---------------------|---------------------------|---------------|----------------------------------|--|--|
| | Proprietățile fluidului 1 | | | | | Proprietățile fluidului 2 | | | | |
| | m_1 kg/s | t_1 °C | t_1'' °C | Δp_1 N/m ² | \dot{m}_1 kg/s | t_2 °C | t_2'' °C | Δp_2 N/m ² | | |
| 1 | 0,000815 | 73 | 41,18898 | 7,84532 | 0,00192 | 26,2 | 38,6 | 454,048 | | |
| 2 | 0,001183 | 75,1 | 52,29172 | 19,6133 | 0,00192 | 25,9 | 38,8 | 454,048 | | |
| 3 | 0,001531 | 79 | 60,69372 | 40,20727 | 0,00192 | 25,6 | 39 | 453,067 | | |
| 4 | 0,001694 | 82,3 | 65,87605 | 54,91724 | 0,00192 | 25,8 | 39,1 | 453,067 | | |
| 5 | 0,001889 | 84,4 | 69,78474 | 80,41453 | 0,00192 | 26 | 39,2 | 455,029 | | |
| 6 | 0,002049 | 85,5 | 72,02539 | 84,33719 | 0,00192 | 26,2 | 39,4 | 454,048 | | |
| 7 | 0,002221 | 86,4 | 73,87508 | 93,16318 | 0,00192 | 26,3 | 39,6 | 453,067 | | |
| 8 | 0,002359 | 87 | 75,02796 | 112,7765 | 0,00192 | 26,3 | 39,8 | 453,067 | | |
| 9 | 0,00251 | 88,1 | 75,76446 | 160,8291 | 0,00192 | 26,3 | 41,1 | 457,971 | | |

| Nr. crt | Mărimi calculate | | | | | | | | | |
|---------|------------------|------------|------------|-----------------------------|----------|----------|-----------|-------------------|-------------------|----------|
| | Q_1 W | Q_2 W | Q_m W | k_2 W/m ² K | Φ | μ | λ | w_{zint} m/s | w_{zind} m/s | |
| | 1 | 26,198 | 23,841 | 25,01951 | 10,05928 | 0,649135 | 0,428354 | 1,300165 | 2,336934 | 1,314526 |
| 2 | 27,255 | 24,802 | 26,02836 | 7,86671 | 0,442722 | 0,621521 | 0,700764 | 2,336552 | 1,31431 | |
| 3 | 28,311 | 25,763 | 27,03722 | 6,774513 | 0,327388 | 0,804384 | 0,466282 | 2,336192 | 1,314108 | |
| 4 | 28,100 | 25,571 | 26,83544 | 6,057496 | 0,277608 | 0,889883 | 0,376873 | 2,33734 | 1,314754 | |
| 5 | 27,889 | 25,379 | 26,63367 | 5,624097 | 0,239 | 0,992489 | 0,313734 | 2,338442 | 1,315374 | |
| 6 | 27,889 | 25,379 | 26,63367 | 5,443742 | 0,217003 | 1,076506 | 0,279972 | 2,339995 | 1,316247 | |
| 7 | 28,100 | 25,571 | 26,83544 | 5,342713 | 0,199023 | 1,166905 | 0,25349 | 2,341166 | 1,316906 | |
| 8 | 28,522 | 25,955 | 27,23899 | 5,335598 | 0,188357 | 1,239151 | 0,238393 | 2,341931 | 1,317336 | |
| 9 | 31,269 | 28,455 | 29,862 | 5,817638 | 0,190622 | 1,318445 | 0,244297 | 2,346792 | 1,32007 | |

| Nr. crt | Mărimi calculate pentru generalizarea rezultatelor | | | | | | | | | | |
|---------|--|------------|----------------|----------------------------------|--------------|------------|---------------|------------|----------------------------------|----------|----------|
| | w_1 m/s | d_1 m | $Re_{incintă}$ | α_1 W/m ² K | w_2 m/s | Re_{z_1} | $Re_{z_{in}}$ | Re_{z_m} | α_2 W/m ² K | cf | Nu |
| | 1 | 0,026076 | 0,193 | 68,72862 | 13,39084 | 1,82573 | 2930,047 | 4261,887 | 1598,207 | 36,09128 | 1,733535 |
| 2 | 0,038587 | 0,193 | 101,4904 | 19,28601 | 1,825431 | 2929,567 | 4261,189 | 1597,946 | 12,93183 | 1,733819 | 11,6587 |
| 3 | 0,050842 | 0,193 | 127,6143 | 23,76084 | 1,82515 | 2929,116 | 4260,532 | 1597,7 | 9,328609 | 1,730341 | 8,177252 |
| 4 | 0,056933 | 0,193 | 140,9234 | 25,94393 | 1,826047 | 2930,555 | 4262,625 | 1598,485 | 7,808261 | 1,729491 | 6,801621 |
| 5 | 0,064031 | 0,193 | 153,1846 | 27,99511 | 1,826908 | 2931,938 | 4264,636 | 1599,239 | 6,968531 | 1,736159 | 5,986711 |
| 6 | 0,06978 | 0,193 | 164,576 | 30,27135 | 1,828121 | 2933,885 | 4267,469 | 1600,301 | 6,580173 | 1,731268 | 5,52028 |
| 7 | 0,075929 | 0,193 | 176,9906 | 32,52139 | 1,829036 | 2935,352 | 4269,603 | 1601,101 | 6,34359 | 1,726665 | 5,233985 |
| 8 | 0,080814 | 0,193 | 184,5922 | 33,92986 | 1,829633 | 2936,311 | 4270,998 | 1601,624 | 6,284785 | 1,7261 | 5,117903 |
| 9 | 0,086168 | 0,193 | 194,9502 | 35,88675 | 1,833431 | 2942,406 | 4279,863 | 1604,949 | 6,890474 | 1,741167 | 5,521213 |

Tub Field Φ 40 lis, m_1 variabil, $h = 6$ mm

| Nr. crt | Mărimi măsurate | | | | | | | | | |
|---------|---------------------------|-------------|---------------|----------------------------------|-------------------|---------------------------|---------------|----------------------------------|--|--|
| | Proprietățile fluidului 1 | | | | | Proprietățile fluidului 2 | | | | |
| | m_1 kg/s | t_1 °C | t_1'' °C | Δp_1 N/m ² | μm_1 kg/s | t_2 °C | t_2'' °C | Δp_2 N/m ² | | |
| 1 | 0,001139 | 60,1 | 30,28708 | 17,65197 | 0,00243 | 29,2 | 42 | 368,730 | | |
| 2 | 0,001198 | 61,6 | 33,01888 | 24,51663 | 0,00243 | 29,2 | 42,1 | 362,846 | | |
| 3 | 0,001461 | 66,8 | 42,6416 | 56,87857 | 0,00243 | 29,1 | 42,4 | 362,846 | | |
| 4 | 0,001673 | 69,5 | 48,56319 | 62,76256 | 0,00243 | 28,9 | 42,1 | 362,846 | | |
| 5 | 0,001899 | 70,5 | 51,76871 | 84,33719 | 0,00243 | 29 | 42,4 | 361,865 | | |
| 6 | 0,002023 | 72,1 | 54,13161 | 95,12451 | 0,00243 | 29 | 42,7 | 370,691 | | |
| 7 | 0,002221 | 72,7 | 56,21264 | 115,7185 | 0,00243 | 29,1 | 42,9 | 368,730 | | |
| 8 | 0,002396 | 73,8 | 58,18008 | 137,2931 | 0,00243 | 29,1 | 43,2 | 363,827 | | |
| 9 | 0,00251 | 74,2 | 58,65601 | 154,9451 | 0,00243 | 28,9 | 43,6 | 365,788 | | |

Mărimi calculate

| Nr. crt | Q_1 W | Q_2 W | Q_m W | k_2 W/m ² K | Φ | M | χ | w_{zint} m/s | w_{zind} m/s |
|---------|------------|------------|------------|-----------------------------|----------|----------|----------|-------------------|-------------------|
| | 1 | 34,309 | 31,222 | 32,76543 | 45,27535 | 0,921403 | 0,471807 | 4,706614 | 1,686588 |
| 2 | 34,577 | 31,465 | 33,02141 | 28,69943 | 0,842437 | 0,495986 | 2,838017 | 1,686959 | 2,999038 |
| 3 | 35,650 | 32,441 | 34,04533 | 15,43182 | 0,61197 | 0,604981 | 1,251082 | 1,687506 | 3,00001 |
| 4 | 35,382 | 32,197 | 33,78935 | 12,11247 | 0,492479 | 0,692823 | 0,857474 | 1,686139 | 2,997581 |
| 5 | 35,918 | 32,685 | 34,30131 | 11,31444 | 0,431045 | 0,786132 | 0,705908 | 1,687249 | 2,999553 |
| 6 | 36,722 | 33,417 | 35,06925 | 10,77315 | 0,398139 | 0,837857 | 0,630643 | 1,687922 | 3,00075 |
| 7 | 36,990 | 33,661 | 35,32523 | 10,38424 | 0,361134 | 0,919786 | 0,553731 | 1,688774 | 3,002265 |
| 8 | 37,794 | 34,392 | 36,09317 | 10,11265 | 0,333714 | 0,991971 | 0,500008 | 1,689676 | 3,003868 |
| 9 | 39,402 | 35,856 | 37,62904 | 10,42333 | 0,327693 | 1,039234 | 0,491931 | 1,690189 | 3,004781 |

Mărimi calculate pentru generalizarea rezultatelor

| Nr. crt | w_1 m/s | d_1 m | $Re_{incintă}$ | α_1 W/m ² K | w_2 m/s | Re_2 | Re_{2in} | Re_{2m} | α_2 W/m ² K | cf | Nu |
|---------|--------------|------------|----------------|----------------------------------|--------------|----------|------------|-----------|----------------------------------|-----------|-----------|
| | 1 | 0,03512 | 0,193 | 92,56755 | 15,33291 | 2,342484 | 2961,924 | 4101,126 | 1822,723 | -24,66961 | 0,86487 |
| 2 | 0,037163 | 0,193 | 97,74576 | 17,0628 | 2,342999 | 2962,576 | 4102,028 | 1823,124 | -46,66096 | 0,850882 | -42,06722 |
| 3 | 0,046364 | 0,193 | 116,3749 | 20,78462 | 2,343758 | 2963,536 | 4103,357 | 1823,714 | 53,76105 | 0,850606 | 47,12574 |
| 4 | 0,053791 | 0,193 | 133,1458 | 23,57434 | 2,34186 | 2961,136 | 4100,035 | 1822,238 | 23,90915 | 0,851295 | 20,82679 |
| 5 | 0,061409 | 0,193 | 146,9114 | 25,76442 | 2,343401 | 2963,084 | 4102,732 | 1823,437 | 19,56579 | 0,848436 | 16,8091 |
| 6 | 0,065831 | 0,193 | 155,2608 | 27,61198 | 2,344336 | 2964,267 | 4104,369 | 1824,164 | 17,22846 | 0,868783 | 14,45341 |
| 7 | 0,072541 | 0,193 | 169,0937 | 29,99932 | 2,34552 | 2965,764 | 4106,442 | 1825,085 | 15,55531 | 0,86375 | 12,83441 |
| 8 | 0,078573 | 0,193 | 179,4726 | 31,81049 | 2,346772 | 2967,346 | 4108,634 | 1826,059 | 14,5571 | 0,85181 | 11,85431 |
| 9 | 0,082409 | 0,193 | 186,4452 | 33,24957 | 2,347485 | 2968,249 | 4109,883 | 1826,615 | 14,91341 | 0,856141 | 11,94984 |

Tub Field Φ 19 lis, m_1 variabil, $h = 6$ mm

| Nr. crt | Mărimi măsurate | | | | | | | | | |
|---------|---------------------------|-------------|---------------|----------------------------------|-----------------|---------------------------|---------------|----------------------------------|--|--|
| | Proprietățile fluidului 1 | | | | | Proprietățile fluidului 2 | | | | |
| | m_1 kg/s | t_1 °C | t_1'' °C | Δp_1 N/m ² | μ_1 kg/s | t_2 °C | t_2'' °C | Δp_2 N/m ² | | |
| 1 | 0,000873 | 70,1 | 30,1132 | 26,47796 | 0,00215 | 24,5 | 39,4 | 414,821 | | |
| 2 | 0,00122 | 75,2 | 46,58233 | 32,36195 | 0,00215 | 24,5 | 39,4 | 405,995 | | |
| 3 | 0,001501 | 80,3 | 56,87199 | 89,24052 | 0,00215 | 24,5 | 39,5 | 409,918 | | |
| 4 | 0,001736 | 83,1 | 61,9066 | 71,58855 | 0,00215 | 24,5 | 40,2 | 411,879 | | |
| 5 | 0,001925 | 84,5 | 65,38213 | 84,33719 | 0,00215 | 24,5 | 40,2 | 411,879 | | |
| 6 | 0,002097 | 86,1 | 67,98817 | 96,10517 | 0,00215 | 24,5 | 40,7 | 410,899 | | |
| 7 | 0,002279 | 87,9 | 70,11192 | 107,8732 | 0,00215 | 24,5 | 41,8 | 410,899 | | |
| 8 | 0,002433 | 88,2 | 71,44821 | 121,6025 | 0,00215 | 24,5 | 41,9 | 412,860 | | |
| 9 | 0,002599 | 88,4 | 72,72385 | 148,0804 | 0,00215 | 24,5 | 41,9 | 411,879 | | |

Mărimi calculate

| Nr. crt | Q_1 W | Q_2 W | Q_m W | k_2 W/m ² K | Φ | M | χ | w_{zint} m/s | w_{zinel} m/s |
|---------|------------|------------|------------|-----------------------------|----------|----------|----------|-------------------|--------------------|
| | 1 | 35,275 | 32,101 | 33,68802 | 24,81755 | 0,837443 | 0,409476 | 2,586451 | 1,922267 |
| 2 | 35,275 | 32,101 | 33,68802 | 12,90608 | 0,539051 | 0,572151 | 0,962626 | 1,922434 | 1,846197 |
| 3 | 35,512 | 32,316 | 33,91411 | 10,12737 | 0,400963 | 0,703582 | 0,614265 | 1,922675 | 1,846428 |
| 4 | 37,169 | 33,824 | 35,49677 | 9,630429 | 0,345387 | 0,814062 | 0,504849 | 1,924844 | 1,848512 |
| 5 | 37,169 | 33,824 | 35,49677 | 9,069907 | 0,304293 | 0,902441 | 0,428902 | 1,924844 | 1,848512 |
| 6 | 38,353 | 34,901 | 36,62724 | 8,965127 | 0,280792 | 0,982904 | 0,389241 | 1,926439 | 1,850043 |
| 7 | 40,957 | 37,271 | 39,11427 | 9,277754 | 0,267943 | 1,068749 | 0,37046 | 1,929906 | 1,853373 |
| 8 | 41,194 | 37,487 | 39,34037 | 9,177706 | 0,251145 | 1,141423 | 0,343132 | 1,930184 | 1,853639 |
| 9 | 41,194 | 37,487 | 39,34037 | 9,035586 | 0,234284 | 1,219743 | 0,316127 | 1,930202 | 1,853657 |

Mărimi calculate pentru generalizarea rezultatelor

| Nr. crt | w_1 m/s | d_1 m | $Re_{incintă}$ | α_1 W/m ² K | w_2 m/s | Re_2 | Re_{2in} | Re_{2m} | α_2 W/m ² K | cf | Nu |
|---------|--------------|------------|----------------|----------------------------------|--------------|----------|------------|-----------|----------------------------------|-----------|----------|
| | 1 | 0,027335 | 0,193 | 72,04816 | 13,48805 | 1,884152 | 2849,55 | 2220,247 | 3478,853 | -32,37046 | 1,485458 |
| 2 | 0,039467 | 0,193 | 103,8064 | 19,4799 | 1,884315 | 2849,798 | 2220,44 | 3479,155 | 35,47493 | 1,453727 | 31,98244 |
| 3 | 0,049624 | 0,193 | 124,5582 | 23,2753 | 1,884552 | 2850,155 | 2220,719 | 3479,592 | 17,39597 | 1,467588 | 15,24892 |
| 4 | 0,058085 | 0,193 | 143,7743 | 26,25839 | 1,886678 | 2853,371 | 2223,224 | 3483,517 | 14,86647 | 1,472948 | 12,94989 |
| 5 | 0,064837 | 0,193 | 155,1123 | 28,15663 | 1,886678 | 2853,371 | 2223,224 | 3483,517 | 13,13243 | 1,472948 | 11,28215 |
| 6 | 0,071037 | 0,193 | 167,539 | 30,59672 | 1,888241 | 2855,734 | 2225,066 | 3486,403 | 12,47582 | 1,468225 | 10,46629 |
| 7 | 0,077649 | 0,193 | 180,9992 | 32,9957 | 1,891639 | 2860,874 | 2229,07 | 3492,678 | 12,71009 | 1,465587 | 10,48687 |
| 8 | 0,083082 | 0,193 | 189,7726 | 34,56473 | 1,891912 | 2861,286 | 2229,391 | 3493,181 | 12,31931 | 1,472371 | 10,03201 |
| 9 | 0,088913 | 0,193 | 201,1608 | 36,69968 | 1,89193 | 2861,314 | 2229,413 | 3493,214 | 11,83391 | 1,468859 | 9,482302 |

Tub U, m₁ variabil

| Nr. crt | Mărimi măsurate | | | | | | Proprietățile fluidului 1 | | | | | | Proprietățile fluidului 2 | | | | | |
|---------|------------------------|----------------------|------------------------------------|-------------------------------------|------------------------|----------------------|------------------------------------|-------------------------------------|------------------------|---------------------------|------------------------------------|-------------------------------------|---------------------------|----------------------|------------------------------------|-------------------------------------|--|--|
| | Mărimi măsurate | | | Proprietățile fluidului 1 | | | Mărimi măsurate | | | Proprietățile fluidului 2 | | | Mărimi măsurate | | | Proprietățile fluidului 2 | | |
| | m ₁ kg/s | t ₁ °C | t ₁ ^{II} °C | ΔP ₁ N/m ² | m _l kg/s | t ₂ °C | t ₂ ^{II} °C | ΔP ₂ N/m ² | m ₁ kg/s | t ₁ °C | t ₁ ^{II} °C | ΔP ₁ N/m ² | m _l kg/s | t ₂ °C | t ₂ ^{II} °C | ΔP ₂ N/m ² | | |
| 1 | 0,001025 | 70 | 43,81626 | 1,96133 | 0,00241 | 28,4 | 38,6 | 294,200 | 0,001025 | 70 | 43,81626 | 1,96133 | 0,00241 | 28,4 | 38,6 | 294,200 | | |
| 2 | 0,001025 | 80 | 53,30285 | 27,45862 | 0,00241 | 28,4 | 38,8 | 291,258 | 0,001025 | 80 | 53,30285 | 27,45862 | 0,00241 | 28,4 | 38,8 | 291,258 | | |
| 3 | 0,001323 | 90 | 69,32048 | 31,38128 | 0,00241 | 28,5 | 38,9 | 291,258 | 0,001323 | 90 | 69,32048 | 31,38128 | 0,00241 | 28,5 | 38,9 | 291,258 | | |
| 4 | 0,001565 | 100 | 83,02677 | 51,97525 | 0,00241 | 28,7 | 39,1 | 291,258 | 0,001565 | 100 | 83,02677 | 51,97525 | 0,00241 | 29 | 39,1 | 291,258 | | |
| 5 | 0,001775 | 110 | 93,84536 | 73,54988 | 0,00241 | 28,7 | 39,6 | 290,277 | 0,001775 | 110 | 93,84536 | 73,54988 | 0,00241 | 28,7 | 39,6 | 290,277 | | |
| 6 | 0,001962 | 120 | 104,7173 | 80,41453 | 0,00241 | 29 | 40,4 | 291,258 | 0,001962 | 120 | 104,7173 | 80,41453 | 0,00241 | 29 | 40,4 | 291,258 | | |
| 7 | 0,002133 | 130 | 115,202 | 107,8732 | 0,00241 | 29 | 41 | 291,258 | 0,002133 | 130 | 115,202 | 107,8732 | 0,00241 | 29 | 41 | 291,258 | | |
| 8 | 0,002291 | 140 | 125,4202 | 121,6025 | 0,00241 | 28,8 | 41,5 | 292,238 | 0,002291 | 140 | 125,4202 | 121,6025 | 0,00241 | 28,8 | 41,5 | 292,238 | | |
| 9 | 0,002531 | 150 | 135,9686 | 150,0417 | 0,00241 | 28,8 | 42,3 | 293,219 | 0,002531 | 150 | 135,9686 | 150,0417 | 0,00241 | 28,8 | 42,3 | 293,219 | | |

| Nr. crt | Mărimi calculate | | | | | | | | | | | | | |
|---------|---------------------|---------------------|---------------------|--------------------------------------|----------|----------|------------------|---------------------|---------------------|---------------------|--------------------------------------|----------|----------|----------|
| | Mărimi calculate | | | | | | Mărimi calculate | | | | | | | |
| | Q ₁ W | Q ₂ W | Q _m W | k ₂ W/m ² K | Φ | μ | χ | Q ₁ W | Q ₂ W | Q _m W | k ₂ W/m ² K | Φ | | |
| 1 | 27,097 | 24,658 | 25,87717 | 10,07102 | 0,601093 | 0,428082 | 1,112914 | 27,097 | 24,658 | 25,87717 | 10,07102 | 0,601093 | 0,428082 | 1,112914 |
| 2 | 27,628 | 25,141 | 26,38456 | 7,127384 | 0,494104 | 0,428082 | 0,787623 | 27,628 | 25,141 | 26,38456 | 7,127384 | 0,494104 | 0,428082 | 0,787623 |
| 3 | 27,628 | 25,141 | 26,38456 | 5,041019 | 0,321121 | 0,552652 | 0,431501 | 27,628 | 25,141 | 26,38456 | 5,041019 | 0,321121 | 0,552652 | 0,431501 |
| 4 | 26,831 | 24,416 | 25,62347 | 3,903873 | 0,228302 | 0,653906 | 0,28242 | 26,831 | 24,416 | 25,62347 | 3,903873 | 0,228302 | 0,653906 | 0,28242 |
| 5 | 28,956 | 26,350 | 27,65305 | 3,569739 | 0,189762 | 0,74146 | 0,227753 | 28,956 | 26,350 | 27,65305 | 3,569739 | 0,189762 | 0,74146 | 0,227753 |
| 6 | 30,284 | 27,559 | 28,92154 | 3,257261 | 0,160385 | 0,819715 | 0,187977 | 30,284 | 27,559 | 28,92154 | 3,257261 | 0,160385 | 0,819715 | 0,187977 |
| 7 | 31,878 | 29,009 | 30,44373 | 3,039177 | 0,139921 | 0,891124 | 0,161337 | 31,878 | 29,009 | 30,44373 | 3,039177 | 0,139921 | 0,891124 | 0,161337 |
| 8 | 33,738 | 30,701 | 32,21961 | 2,887964 | 0,125213 | 0,957221 | 0,142723 | 33,738 | 30,701 | 32,21961 | 2,887964 | 0,125213 | 0,957221 | 0,142723 |
| 9 | 35,863 | 32,635 | 34,24919 | 2,787652 | 0,110561 | 1,057285 | 0,124727 | 35,863 | 32,635 | 34,24919 | 2,787652 | 0,110561 | 1,057285 | 0,124727 |

| Nr. crt | Mărimi calculate pentru generalizarea rezultatelor | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------|--|---------------------|-----------------------|--------------------------------------|-----------------------|------------------|--|----------|----------|-----------------------|---------------------|-----------------------|--------------------------------------|-----------------------|------------------|--------------------------------------|----------|----------|
| | Mărimi calculate pentru generalizarea rezultatelor | | | | | | Mărimi calculate pentru generalizarea rezultatelor | | | | | | | | | | | |
| | w ₁ m/s | d ₁ m | Re _{incintă} | α ₁ W/m ² K | w ₂ m/s | Re _{zm} | α ₂ W/m ² K | cf | Nu | w ₁ m/s | d ₁ m | Re _{incintă} | α ₁ W/m ² K | w ₂ m/s | Re _{zm} | α ₂ W/m ² K | cf | Nu |
| 1 | 0,083332 | 0,12099 | 157,6561 | 37,02045 | 2,170493 | 4618,07 | 0,909348 | 16,81435 | 0,083332 | 0,12099 | 157,6561 | 37,02045 | 2,170493 | 4618,07 | 0,909348 | 16,81435 | 0,909348 | 16,81435 |
| 2 | 0,085772 | 0,12099 | 153,1643 | 37,81866 | 2,171264 | 4619,711 | 0,899935 | 10,49814 | 0,085772 | 0,12099 | 153,1643 | 37,81866 | 2,171264 | 4619,711 | 0,899935 | 10,49814 | 0,899935 | 10,49814 |
| 3 | 0,114968 | 0,12099 | 190,7953 | 47,03812 | 2,171972 | 4621,217 | 0,899641 | 6,542699 | 0,114968 | 0,12099 | 190,7953 | 47,03812 | 2,171972 | 4621,217 | 0,899641 | 6,542699 | 0,899641 | 6,542699 |
| 4 | 0,140575 | 0,12099 | 222,6305 | 56,0552 | 2,174451 | 4626,491 | 0,898616 | 4,642717 | 0,140575 | 0,12099 | 222,6305 | 56,0552 | 2,174451 | 4626,491 | 0,898616 | 4,642717 | 0,898616 | 4,642717 |
| 5 | 0,163914 | 0,12099 | 247,2845 | 62,29741 | 2,17518 | 4628,042 | 0,89529 | 4,101947 | 0,163914 | 0,12099 | 247,2845 | 62,29741 | 2,17518 | 4628,042 | 0,89529 | 4,101947 | 0,89529 | 4,101947 |
| 6 | 0,186246 | 0,12099 | 267,1555 | 67,35012 | 2,179054 | 4636,285 | 0,896717 | 3,641952 | 0,186246 | 0,12099 | 267,1555 | 67,35012 | 2,179054 | 4636,285 | 0,896717 | 3,641952 | 0,896717 | 3,641952 |
| 7 | 0,207795 | 0,12099 | 281,893 | 71,5283 | 2,181178 | 4640,805 | 0,895844 | 3,307901 | 0,207795 | 0,12099 | 281,893 | 71,5283 | 2,181178 | 4640,805 | 0,895844 | 3,307901 | 0,895844 | 3,307901 |
| 8 | 0,228881 | 0,12099 | 300,0311 | 76,21631 | 2,18222 | 4643,02 | 0,898431 | 3,083164 | 0,228881 | 0,12099 | 300,0311 | 76,21631 | 2,18222 | 4643,02 | 0,898431 | 3,083164 | 0,898431 | 3,083164 |
| 9 | 0,259137 | 0,12099 | 323,9207 | 82,97387 | 2,185031 | 4649,003 | 0,900286 | 2,878947 | 0,259137 | 0,12099 | 323,9207 | 82,97387 | 2,185031 | 4649,003 | 0,900286 | 2,878947 | 0,900286 | 2,878947 |

Tub Field Φ 19 cu nervuri, m_1 variabil

| Nr. crt | Mărimi măsurate | | | | | | Proprietățile fluidului 1 | | | | | | Proprietățile fluidului 2 | | | | | |
|---------|---------------------------|-------------|---------------|----------------------------------|---------------|-------------|---------------------------|----------------------------------|---------------|---------------------------|---------------|----------------------------------|---------------------------|-------------|---------------|----------------------------------|--|--|
| | Proprietățile fluidului 1 | | | Proprietățile fluidului 2 | | | Proprietățile fluidului 1 | | | Proprietățile fluidului 2 | | | Proprietățile fluidului 1 | | | Proprietățile fluidului 2 | | |
| | m_1 kg/s | t_1 °C | t_1'' °C | Δp_1 N/m ² | m_1 kg/s | t_2 °C | t_2'' °C | Δp_2 N/m ² | m_1 kg/s | t_1 °C | t_1'' °C | Δp_1 N/m ² | m_1 kg/s | t_2 °C | t_2'' °C | Δp_2 N/m ² | | |
| 1 | 0,000909 | 70,7 | 56,29617 | 19,6133 | 0,00057 | 26 | 47,1 | 711,963 | 0,00057 | 26,1 | 47,2 | 711,963 | 0,00057 | 26,1 | 47,2 | 713,924 | | |
| 2 | 0,001229 | 75,1 | 64,44098 | 27,45862 | 0,00057 | 26,1 | 47,2 | 711,963 | 0,00057 | 26,1 | 47,2 | 713,924 | 0,00057 | 26,1 | 47,2 | 713,924 | | |
| 3 | 0,00154 | 80,8 | 72,29705 | 51,97525 | 0,00057 | 26,1 | 47,2 | 713,924 | 0,00057 | 26,1 | 47,3 | 709,021 | 0,00057 | 26,1 | 47,3 | 709,021 | | |
| 4 | 0,001778 | 83,5 | 76,10133 | 92,18251 | 0,00057 | 26,1 | 47,3 | 709,021 | 0,00057 | 26,1 | 47,4 | 709,021 | 0,00057 | 26,1 | 47,4 | 709,021 | | |
| 5 | 0,001998 | 85,4 | 78,75015 | 93,16318 | 0,00057 | 26,1 | 47,4 | 709,021 | 0,00057 | 26,1 | 47,5 | 707,059 | 0,00057 | 26,1 | 47,5 | 707,059 | | |
| 6 | 0,002145 | 87 | 80,80747 | 103,9505 | 0,00057 | 26,1 | 47,5 | 707,059 | 0,00057 | 26,1 | 47,5 | 706,079 | 0,00057 | 26,1 | 47,5 | 706,079 | | |
| 7 | 0,002323 | 88,6 | 82,85403 | 116,6991 | 0,00057 | 26,1 | 47,5 | 706,079 | 0,00057 | 26,1 | 47,6 | 706,079 | 0,00057 | 26,1 | 47,6 | 706,079 | | |
| 8 | 0,002501 | 89,1 | 83,76679 | 135,3318 | 0,00057 | 26,1 | 47,6 | 706,079 | 0,00057 | 26,1 | 47,6 | 706,079 | 0,00057 | 26,1 | 47,6 | 706,079 | | |
| 9 | 0,002592 | 89,5 | 84,33347 | 141,2158 | 0,00057 | 26,1 | 47,7 | 707,059 | 0,00057 | 26,1 | 47,7 | 707,059 | 0,00057 | 26,1 | 47,7 | 707,059 | | |

Mărimi calculate

| Nr. crt | Q_1 W | Q_2 W | Q_m W | k_2 W/m ² K | Φ | μ | λ | w_{zint} m/s | w_{zinet} m/s |
|---------|------------|------------|------------|-----------------------------|----------|----------|-----------|-------------------|--------------------|
| | 1 | 13,231 | 12,040 | 12,63543 | 3,443227 | 0,307733 | 1,609767 | 0,513101 | 0,325781 |
| 2 | 13,226 | 12,036 | 12,63116 | 2,809544 | 0,207742 | 2,175323 | 0,309927 | 0,327688 | 1,777158 |
| 3 | 13,226 | 12,036 | 12,63116 | 2,332315 | 0,148452 | 2,726912 | 0,205241 | 0,327978 | 1,778732 |
| 4 | 13,289 | 12,093 | 12,69102 | 2,169796 | 0,123096 | 3,148767 | 0,165358 | 0,328852 | 1,783471 |
| 5 | 13,419 | 12,211 | 12,81509 | 2,081741 | 0,106913 | 3,536394 | 0,14121 | 0,329549 | 1,78725 |
| 6 | 13,414 | 12,207 | 12,81075 | 2,004418 | 0,097108 | 3,797556 | 0,126658 | 0,330319 | 1,791426 |
| 7 | 13,482 | 12,268 | 12,87497 | 1,937291 | 0,087658 | 4,111817 | 0,113022 | 0,331614 | 1,79845 |
| 8 | 13,477 | 12,264 | 12,87061 | 1,913414 | 0,080845 | 4,430045 | 0,103645 | 0,332693 | 1,804302 |
| 9 | 13,540 | 12,321 | 12,93047 | 1,905926 | 0,077824 | 4,594236 | 0,09955 | 0,333893 | 1,81081 |

Mărimi calculate pentru generalizarea rezultatelor

| Nr. crt | w_1 m/s | d_1 m | $Re_{incintă}$ | α_1 W/m ² K | w_2 m/s | Re_{2m} | Re_{2i} | Re_{2in} | α_2 W/m ² K | cf | Nu |
|---------|--------------|------------|----------------|----------------------------------|--------------|-----------|-----------|------------|----------------------------------|----------|----------|
| | 1 | 0,029644 | 0,193 | 78,13445 | 14,86284 | 1,046298 | 1301,101 | 2040,698 | 561,5027 | 4,454685 | 8,367825 |
| 2 | 0,040789 | 0,193 | 107,2824 | 20,19185 | 1,052423 | 1308,717 | 2052,644 | 564,7897 | 3,253207 | 8,273382 | 2,932931 |
| 3 | 0,05213 | 0,193 | 130,8482 | 24,31752 | 1,053355 | 1309,876 | 2054,463 | 565,29 | 2,574319 | 8,281338 | 2,256591 |
| 4 | 0,06073 | 0,193 | 150,3227 | 27,29843 | 1,056162 | 1313,366 | 2059,936 | 566,7961 | 2,353124 | 8,182524 | 2,049759 |
| 5 | 0,068669 | 0,193 | 164,2796 | 29,53939 | 1,058399 | 1316,149 | 2064,301 | 567,997 | 2,236212 | 8,14796 | 1,921144 |
| 6 | 0,074087 | 0,193 | 174,733 | 31,7127 | 1,060872 | 1319,224 | 2069,124 | 569,3242 | 2,136801 | 8,090349 | 1,792618 |
| 7 | 0,080628 | 0,193 | 187,9445 | 34,11332 | 1,065032 | 1324,397 | 2077,237 | 571,5565 | 2,051489 | 8,014925 | 1,692648 |
| 8 | 0,086965 | 0,193 | 198,6404 | 35,93964 | 1,068498 | 1328,706 | 2083,997 | 573,4163 | 2,018767 | 7,965589 | 1,643947 |
| 9 | 0,090271 | 0,193 | 204,2329 | 37,26145 | 1,072352 | 1333,499 | 2091,513 | 575,4846 | 2,006531 | 7,920622 | 1,607798 |

Tub Field Φ 35 lis, m_2 variabil, $h = 6$ mm

| Nr. crt | Mărimi măsurate | | | | | | | | | |
|---------|---------------------------|-------------|---------------|----------------------------------|---------------|---------------------------|---------------|----------------------------------|--|--|
| | Proprietățile fluidului 1 | | | | | Proprietățile fluidului 2 | | | | |
| | m_1 kg/s | t_1 °C | t_1'' °C | Δp_1 N/m ² | m_2 kg/s | t_2 °C | t_2'' °C | Δp_2 N/m ² | | |
| 1 | 0,00258 | 60,6 | 56,9626 | 155,926 | 0,00073 | 28,2 | 40 | 47,072 | | |
| 2 | 0,00258 | 62 | 56,2893 | 158,868 | 0,00103 | 28,4 | 41,5 | 80,415 | | |
| 3 | 0,00258 | 62,4 | 54,9787 | 154,945 | 0,00126 | 28,2 | 42,1 | 131,409 | | |
| 4 | 0,00257 | 62,8 | 54,1073 | 153,964 | 0,00145 | 29 | 43,1 | 176,520 | | |
| 5 | 0,00258 | 64,6 | 54,331 | 157,887 | 0,00164 | 28,7 | 43,5 | 218,688 | | |
| 6 | 0,00258 | 65,2 | 53,7231 | 156,906 | 0,00178 | 28,7 | 43,9 | 262,818 | | |
| 7 | 0,00257 | 64,2 | 51,8266 | 155,926 | 0,00193 | 28,9 | 44 | 314,793 | | |
| 8 | 0,00258 | 64,1 | 50,4989 | 155,926 | 0,00206 | 28,7 | 44,3 | 347,155 | | |
| 9 | 0,00258 | 64,7 | 50,1814 | 152,984 | 0,00218 | 28,7 | 44,4 | 396,189 | | |

Mărimi calculate

| Nr. crt | Q_1 W | Q_2 W | Q_m W | k_2 W/m ² K | Φ | μ | λ | w_{zint} m/s | w_{zinet} m/s |
|---------|------------|------------|------------|-----------------------------|---------|---------|-----------|-------------------|--------------------|
| | 1 | 9,479 | 8,626 | 9,05255 | 3,27474 | 0,10721 | 3,56495 | 0,14205 | 0,65923 |
| 2 | 14,872 | 13,534 | 14,2032 | 5,23415 | 0,16231 | 2,5208 | 0,22719 | 0,93395 | 0,89691 |
| 3 | 19,340 | 17,600 | 18,4699 | 6,98558 | 0,20723 | 2,05823 | 0,30301 | 1,14477 | 1,09938 |
| 4 | 22,593 | 20,560 | 21,5768 | 8,56164 | 0,24561 | 1,78248 | 0,37236 | 1,32163 | 1,26922 |
| 5 | 26,717 | 24,313 | 25,5148 | 9,6906 | 0,27317 | 1,58377 | 0,42104 | 1,48855 | 1,42952 |
| 6 | 29,860 | 27,172 | 28,516 | 10,9151 | 0,30029 | 1,45539 | 0,47424 | 1,6202 | 1,55595 |
| 7 | 32,171 | 29,275 | 30,7231 | 12,6211 | 0,33475 | 1,34105 | 0,54873 | 1,75712 | 1,68744 |
| 8 | 35,386 | 32,202 | 33,7939 | 14,3843 | 0,36692 | 1,2604 | 0,62497 | 1,87051 | 1,79633 |
| 9 | 37,773 | 34,374 | 36,0736 | 15,2799 | 0,38515 | 1,18832 | 0,66388 | 1,98334 | 1,90468 |

Mărimi calculate pentru generalizarea rezultatelor

| Nr. crt | w_1 m/s | d_1 m | $Re_{incintă}$ | α_1 W/m ² K | w_2 m/s | Re_{z_1} | Re_{z_2} | Re_{z_m} | α_2 W/m ² K | cf | Nu |
|---------|--------------|------------|----------------|----------------------------------|--------------|------------|------------|------------|----------------------------------|---------|---------|
| | 1 | 0,08281 | 0,193 | 218,273 | 32,2091 | 0,64616 | 989,953 | 1402,62 | 577,285 | 3,6291 | 1,44856 |
| 2 | 0,08285 | 0,193 | 217,901 | 33,6342 | 0,91543 | 1402,49 | 1987,12 | 817,852 | 6,15391 | 1,23594 | 5,54806 |
| 3 | 0,08279 | 0,193 | 207,808 | 32,9579 | 1,12208 | 1719,08 | 2435,69 | 1002,47 | 8,77103 | 1,34449 | 7,68849 |
| 4 | 0,08251 | 0,193 | 204,241 | 32,4789 | 1,29543 | 1984,66 | 2811,98 | 1157,34 | 11,4639 | 1,35837 | 9,986 |
| 5 | 0,08284 | 0,193 | 198,192 | 32,0905 | 1,45903 | 2235,32 | 3167,13 | 1303,51 | 13,6491 | 1,32628 | 11,726 |
| 6 | 0,08284 | 0,193 | 195,387 | 32,3863 | 1,58808 | 2433,02 | 3447,24 | 1418,8 | 16,1389 | 1,34569 | 13,5393 |
| 7 | 0,08243 | 0,193 | 192,143 | 32,2167 | 1,72228 | 2638,63 | 3738,56 | 1538,7 | 20,234 | 1,37037 | 16,6947 |
| 8 | 0,08231 | 0,193 | 188 | 31,8672 | 1,83342 | 2808,9 | 3979,8 | 1637,99 | 25,3918 | 1,33338 | 20,6773 |
| 9 | 0,08234 | 0,193 | 186,298 | 32,1157 | 1,94401 | 2978,33 | 4219,86 | 1736,79 | 28,1364 | 1,35306 | 22,5452 |

Tub Field Φ 35 lis, m_2 variabil, $h = 13$ mm

| Nr. crt | Mărimi măsurate | | | | | | Proprietățile fluidului 1 | | | | | | Proprietățile fluidului 2 | | | | | |
|---------|---------------------------|-------------|---------------|----------------------------------|---------------|-------------|---------------------------|----------------------------------|---------------|---------------------------|---------------|----------------------------------|---------------------------|-------------|---------------|----------------------------------|--|--|
| | Proprietățile fluidului 1 | | | Proprietățile fluidului 2 | | | Proprietățile fluidului 1 | | | Proprietățile fluidului 2 | | | Proprietățile fluidului 1 | | | Proprietățile fluidului 2 | | |
| | m_1 kg/s | t_1 °C | t_1'' °C | Δp_1 N/m ² | m_2 kg/s | t_2 °C | t_2'' °C | Δp_2 N/m ² | m_1 kg/s | t_1 °C | t_1'' °C | Δp_1 N/m ² | m_2 kg/s | t_2 °C | t_2'' °C | Δp_2 N/m ² | | |
| 1 | 0,00252 | 62 | 57,2399 | 152,003 | 0,00082 | 27,9 | 41,4 | 33,343 | 0,00252 | 63 | 56,0609 | 150,042 | 0,00111 | 28 | 42,5 | 73,550 | | |
| 2 | 0,00252 | 63 | 54,5081 | 151,022 | 0,00134 | 28,1 | 42,8 | 111,796 | 0,00252 | 63 | 53,2668 | 150,042 | 0,00153 | 28,3 | 43 | 152,003 | | |
| 3 | 0,00252 | 63 | 53,0261 | 152,984 | 0,00168 | 29,4 | 43,1 | 177,500 | 0,00252 | 63 | 51,3492 | 149,061 | 0,00183 | 28,6 | 43,3 | 220,650 | | |
| 4 | 0,00252 | 63 | 50,3016 | 149,061 | 0,00197 | 28,7 | 43,6 | 256,934 | 0,00252 | 63 | 49,1892 | 149,061 | 0,00212 | 28,6 | 43,8 | 297,141 | | |
| 5 | 0,00252 | 63 | 47,7916 | 147,1 | 0,00230 | 28,6 | 43,9 | 358,923 | | | | | | | | | | |

| Nr. crt | Mărimi calculate | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------|------------------|------------|------------|-----------------------------|---------|---------|-----------|-------------------|--------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|----------------------------------|----------------------------------|---------|---------|
| | Q_1 W | Q_2 W | Q_m W | k_2 W/m ² K | Φ | μ | λ | w_{zint} m/s | w_{zinel} m/s | Re_{1int} | Re_{1ext} | Re_{2int} | Re_{2ext} | α_1 W/m ² K | α_2 W/m ² K | cf | Nu |
| 1 | 12,133 | 11,041 | 11,5871 | 4,17621 | 0,13331 | 3,11659 | 0,18395 | 0,73897 | 0,70966 | 214,037 | 213,533 | 203,301 | 200,11 | 31,7618 | 4,77979 | 0,82499 | 4,51776 |
| 2 | 17,687 | 16,095 | 16,8914 | 6,24724 | 0,18934 | 2,29627 | 0,27517 | 1,00451 | 0,96468 | 213,533 | 213,533 | 203,301 | 200,11 | 33,1285 | 7,62892 | 0,98637 | 6,87786 |
| 3 | 21,645 | 19,697 | 20,6712 | 7,94796 | 0,23237 | 1,90227 | 0,35008 | 1,2129 | 1,1648 | 203,301 | 203,301 | 203,301 | 200,11 | 32,3801 | 10,3995 | 1,02864 | 9,11598 |
| 4 | 24,809 | 22,576 | 23,6928 | 9,42464 | 0,26787 | 1,65966 | 0,41512 | 1,39055 | 1,3354 | 203,301 | 203,301 | 203,301 | 200,11 | 31,9928 | 13,1431 | 1,06433 | 11,4487 |
| 5 | 25,423 | 23,135 | 24,2787 | 9,96102 | 0,28348 | 1,50943 | 0,43875 | 1,53153 | 1,47079 | 203,301 | 203,301 | 203,301 | 200,11 | 31,2814 | 14,3493 | 1,02631 | 12,3276 |
| 6 | 29,697 | 27,024 | 28,3606 | 11,9222 | 0,32344 | 1,3865 | 0,52513 | 1,66499 | 1,59896 | 203,301 | 203,301 | 203,301 | 200,11 | 31,4665 | 18,7421 | 1,07796 | 15,7232 |
| 7 | 32,367 | 29,454 | 30,9108 | 13,4428 | 0,35356 | 1,28942 | 0,59211 | 1,79087 | 1,71985 | 203,301 | 203,301 | 203,301 | 200,11 | 31,4904 | 22,7836 | 1,08529 | 18,7984 |
| 8 | 35,457 | 32,266 | 33,8619 | 15,1276 | 0,38507 | 1,20075 | 0,66632 | 1,92267 | 1,84643 | 203,301 | 203,301 | 203,301 | 200,11 | 31,1726 | 28,3321 | 1,08868 | 23,0717 |
| 9 | 38,765 | 35,276 | 37,0205 | 17,2228 | 0,42221 | 1,10552 | 0,7586 | 2,08735 | 2,00457 | 203,301 | 203,301 | 203,301 | 200,11 | 31,2178 | 36,6318 | 1,11523 | 29,3524 |

| Nr. crt | Mărimi calculate pentru generalizarea rezultatelor | | | | | | | | | | | |
|---------|--|------------|-------------|----------------------------------|--------------|-------------|-------------|----------------------------------|---------|---------|--|--|
| | w_1 m/s | d_1 m | Re_{1int} | α_1 W/m ² K | w_2 m/s | Re_{2int} | Re_{2ext} | α_2 W/m ² K | cf | Nu | | |
| 1 | 0,08121 | 0,193 | 214,037 | 31,7618 | 0,72431 | 1109,69 | 647,107 | 4,77979 | 0,82499 | 4,51776 | | |
| 2 | 0,08119 | 0,193 | 213,533 | 33,1285 | 0,9846 | 1508,45 | 879,645 | 7,62892 | 0,98637 | 6,87786 | | |
| 3 | 0,081 | 0,193 | 203,301 | 32,3801 | 1,18885 | 1821,38 | 1062,13 | 10,3995 | 1,02864 | 9,11598 | | |
| 4 | 0,08084 | 0,193 | 200,11 | 31,9928 | 1,36298 | 2088,15 | 1217,69 | 13,1431 | 1,06433 | 11,4487 | | |
| 5 | 0,08081 | 0,193 | 193,331 | 31,2814 | 1,50116 | 2299,86 | 1341,15 | 14,3493 | 1,02631 | 12,3276 | | |
| 6 | 0,08061 | 0,193 | 190,12 | 31,4665 | 1,63198 | 2500,28 | 1458,02 | 18,7421 | 1,07796 | 15,7232 | | |
| 7 | 0,08048 | 0,193 | 187,606 | 31,4904 | 1,75536 | 2689,31 | 1568,25 | 22,7836 | 1,08529 | 18,7984 | | |
| 8 | 0,08036 | 0,193 | 183,553 | 31,1726 | 1,88455 | 2887,23 | 1683,67 | 28,3321 | 1,08868 | 23,0717 | | |
| 9 | 0,08018 | 0,193 | 181,399 | 31,2178 | 2,04596 | 3134,52 | 1827,88 | 36,6318 | 1,11523 | 29,3524 | | |

Tub Field Φ 35 lis, m_2 variabil, $h = 22$ mm

Mărimi măsurate

| Nr. crt | Proprietățile fluidului I | | | | Proprietățile fluidului 2 | | | |
|---------|---------------------------|-------------|---------------|----------------------------------|---------------------------|-------------|---------------|----------------------------------|
| | m_1 kg/s | t_1 °C | t_1'' °C | Δp_1 N/m ² | m_2 kg/s | t_2 °C | t_2'' °C | Δp_2 N/m ² |
| 1 | 0,00257 | 60,2 | 56,0088 | 158,868 | 0,00075 | 27,3 | 40,5 | 38,246 |
| 2 | 0,00259 | 60,4 | 54,4592 | 155,926 | 0,00106 | 27,7 | 41 | 76,492 |
| 3 | 0,00255 | 60,6 | 52,8942 | 158,868 | 0,00130 | 27,4 | 41,3 | 120,622 |
| 4 | 0,00258 | 61 | 52,2554 | 157,887 | 0,00151 | 27,7 | 41,4 | 160,829 |
| 5 | 0,00257 | 61,3 | 51,4411 | 157,887 | 0,00168 | 27,7 | 41,5 | 198,094 |
| 6 | 0,00258 | 61,6 | 50,4498 | 155,926 | 0,00184 | 27,4 | 41,7 | 241,244 |
| 7 | 0,00258 | 61,3 | 49,6019 | 156,906 | 0,00199 | 28 | 41,9 | 290,277 |
| 8 | 0,00257 | 61,3 | 48,4075 | 155,926 | 0,00212 | 27,7 | 42 | 328,523 |
| 9 | 0,00257 | 61,3 | 47,5833 | 155,926 | 0,00224 | 27,7 | 42,1 | 370,691 |

Mărimi calculate

| Nr. crt | Q_1 W | Q_2 W | Q_m W | k_2 W/m ² K | Φ | μ | λ | w_{zint} m/s | w_{zinel} m/s |
|---------|------------|------------|------------|-----------------------------|---------|---------|-----------|-------------------|--------------------|
| | 1 | 10,887 | 9,907 | 10,3967 | 3,90544 | 0,12166 | 3,46092 | 0,16732 | 0,67644 |
| 2 | 15,513 | 14,117 | 14,8146 | 5,8178 | 0,1735 | 2,46015 | 0,24794 | 0,95767 | 0,91969 |
| 3 | 19,856 | 18,069 | 18,9626 | 7,65727 | 0,22166 | 1,98224 | 0,33069 | 1,17239 | 1,12589 |
| 4 | 22,774 | 20,724 | 21,749 | 8,88987 | 0,25078 | 1,72163 | 0,37986 | 1,36464 | 1,31052 |
| 5 | 25,608 | 23,304 | 24,4559 | 10,1224 | 0,28022 | 1,53819 | 0,43366 | 1,52305 | 1,46265 |
| 6 | 29,039 | 26,425 | 27,7322 | 11,6255 | 0,31136 | 1,40933 | 0,49675 | 1,66572 | 1,59966 |
| 7 | 30,466 | 27,724 | 29,0949 | 12,7655 | 0,33549 | 1,30574 | 0,54546 | 1,79933 | 1,72797 |
| 8 | 33,488 | 30,474 | 31,9811 | 14,3727 | 0,36644 | 1,21887 | 0,61576 | 1,92115 | 1,84496 |
| 9 | 35,629 | 32,422 | 34,0256 | 15,6483 | 0,38987 | 1,15364 | 0,67041 | 2,02926 | 1,94879 |

Mărimi calculate pentru generalizarea rezultatelor

| Nr. crt | w_1 m/s | d_1 m | $Re_{incintă}$ | α_1 W/m ² K | w_2 m/s | Re_{z1} | Re_{z2m} | α_2 W/m ² K | cf | Nu |
|---------|--------------|------------|----------------|----------------------------------|--------------|-----------|------------|----------------------------------|---------|---------|
| | 1 | 0,08237 | 0,193 | 217,106 | 32,0221 | 0,66302 | 1015,79 | 1439,23 | 4,42357 | 1,13876 |
| 2 | 0,08264 | 0,193 | 217,355 | 33,4294 | 0,93868 | 1438,1 | 2037,59 | 6,98535 | 1,13752 | 6,29765 |
| 3 | 0,08138 | 0,193 | 204,264 | 32,3875 | 1,14914 | 1760,54 | 2494,44 | 9,90674 | 1,19637 | 8,68403 |
| 4 | 0,08222 | 0,193 | 203,515 | 32,3616 | 1,33758 | 2049,24 | 2903,48 | 12,0758 | 1,17767 | 10,519 |
| 5 | 0,08194 | 0,193 | 196,027 | 31,6291 | 1,49285 | 2287,13 | 3240,53 | 14,6141 | 1,16425 | 12,5551 |
| 6 | 0,08207 | 0,193 | 193,564 | 31,9474 | 1,63269 | 2501,37 | 3544,08 | 17,8711 | 1,18468 | 14,9925 |
| 7 | 0,08193 | 0,193 | 190,973 | 31,9306 | 1,76365 | 2702,01 | 3828,35 | 20,7217 | 1,22263 | 17,0971 |
| 8 | 0,08156 | 0,193 | 186,303 | 31,5487 | 1,88306 | 2884,94 | 4087,55 | 25,5527 | 1,21295 | 20,8084 |
| 9 | 0,08146 | 0,193 | 184,301 | 31,6706 | 1,98902 | 3047,29 | 4317,58 | 29,7792 | 1,22638 | 23,8615 |

Tub Field Φ 35 lis, m_2 variabil, rugos în interior

| Nr. crt | Mărimi măsurate | | | | | | | | | |
|---------|---------------------------|-------------|---------------|----------------------------------|---------------|---------------------------|---------------|----------------------------------|--|--|
| | Proprietățile fluidului 1 | | | | | Proprietățile fluidului 2 | | | | |
| | m_1 kg/s | t_1 °C | t_1'' °C | Δp_1 N/m ² | m_2 kg/s | t_2 °C | t_2'' °C | Δp_2 N/m ² | | |
| 1 | 0,00274 | 67,5 | 63,7729 | 154,945 | 0,00072 | 28,6 | 41,5 | 42,169 | | |
| 2 | 0,00274 | 67,4 | 62,0883 | 153,964 | 0,00102 | 28,8 | 41,8 | 84,337 | | |
| 3 | 0,00274 | 67,6 | 61,4381 | 155,926 | 0,00120 | 29,1 | 42 | 110,815 | | |
| 4 | 0,00274 | 67,8 | 60,3866 | 154,945 | 0,00139 | 28,9 | 42,3 | 147,100 | | |
| 5 | 0,00274 | 68,1 | 59,428 | 155,926 | 0,00159 | 28,8 | 42,5 | 192,210 | | |
| 6 | 0,00274 | 68,2 | 58,2769 | 156,906 | 0,00176 | 28,5 | 42,6 | 231,437 | | |
| 7 | 0,00274 | 68 | 57,0689 | 158,868 | 0,00192 | 28,5 | 42,8 | 269,683 | | |
| 8 | 0,00274 | 68,1 | 56,2508 | 159,848 | 0,00205 | 28,4 | 42,9 | 315,774 | | |
| 9 | 0,00274 | 68,2 | 55,6394 | 156,906 | 0,00216 | 28,4 | 43 | 373,633 | | |

Mărimi calculate

| Nr. crt | Q_1 W | Q_2 W | Q_m W | k_2 W/m ² K | Φ | μ | λ | w_{zint} m/s | w_{zinet} m/s |
|---------|------------|------------|------------|-----------------------------|---------|---------|-----------|-------------------|--------------------|
| | 1 | 10,301 | 9,374 | 9,8378 | 2,86697 | 0,0915 | 3,80348 | 0,11725 | 0,65738 |
| 2 | 14,681 | 13,360 | 14,0206 | 4,23664 | 0,13142 | 2,68947 | 0,17327 | 0,93005 | 0,89317 |
| 3 | 17,031 | 15,498 | 16,2646 | 4,98939 | 0,15285 | 2,30057 | 0,20406 | 1,08787 | 1,04473 |
| 4 | 20,490 | 18,646 | 19,5681 | 6,09788 | 0,182 | 1,98631 | 0,24939 | 1,25974 | 1,20978 |
| 5 | 23,969 | 21,812 | 22,8902 | 7,22197 | 0,21073 | 1,73605 | 0,29537 | 1,44093 | 1,38379 |
| 6 | 27,427 | 24,958 | 26,1925 | 8,38438 | 0,2387 | 1,56147 | 0,34291 | 1,6009 | 1,53741 |
| 7 | 30,213 | 27,494 | 28,8531 | 9,50668 | 0,26428 | 1,43758 | 0,38881 | 1,73876 | 1,66981 |
| 8 | 32,750 | 29,803 | 31,2767 | 10,4397 | 0,28504 | 1,34473 | 0,42697 | 1,85797 | 1,78429 |
| 9 | 34,717 | 31,592 | 33,1544 | 11,1918 | 0,30139 | 1,27733 | 0,45772 | 1,95523 | 1,87769 |

Mărimi calculate pentru generalizarea rezultatelor

| Nr. crt | w_1 m/s | d_1 m | $Re_{incintă}$ | α_1 W/m ² K | w_2 m/s | Re_{z1} | Re_{z2m} | α_2 W/m ² K | cf | Nu |
|---------|--------------|------------|----------------|----------------------------------|--------------|-----------|------------|----------------------------------|---------|---------|
| | 1 | 0,08965 | 0,193 | 236,283 | 34,8799 | 0,64435 | 987,179 | 575,668 | 3,1127 | 1,30907 |
| 2 | 0,08941 | 0,193 | 235,167 | 36,2871 | 0,91161 | 1396,63 | 814,439 | 4,77172 | 1,30855 | 4,30194 |
| 3 | 0,08935 | 0,193 | 224,27 | 35,5943 | 1,0663 | 1633,63 | 952,639 | 5,7656 | 1,25739 | 5,054 |
| 4 | 0,08924 | 0,193 | 220,884 | 35,2507 | 1,23476 | 1891,72 | 1103,14 | 7,31285 | 1,24449 | 6,37008 |
| 5 | 0,08915 | 0,193 | 213,276 | 34,5194 | 1,41236 | 2163,81 | 1261,81 | 9,03803 | 1,24253 | 7,76463 |
| 6 | 0,08901 | 0,193 | 209,928 | 34,7789 | 1,56915 | 2404,03 | 1401,89 | 10,9106 | 1,2112 | 9,15318 |
| 7 | 0,08882 | 0,193 | 207,042 | 34,8113 | 1,70428 | 2611,05 | 1522,62 | 12,8867 | 1,19635 | 10,6326 |
| 8 | 0,08873 | 0,193 | 202,662 | 34,5188 | 1,82113 | 2790,07 | 1627,01 | 14,7135 | 1,22627 | 11,9817 |
| 9 | 0,08866 | 0,193 | 200,589 | 34,7052 | 1,91646 | 2936,12 | 1712,18 | 16,2135 | 1,30967 | 12,9916 |

Tub Field Φ 35 lis, m_2 variabil, rugos în exterior

| Nr. crt | Mărimi măsurate | | | | | | | | | |
|---------|---------------------------|-------------|---------------|----------------------------------|---------------|---------------------------|---------------|----------------------------------|--|--|
| | Proprietățile fluidului 1 | | | | | Proprietățile fluidului 2 | | | | |
| | m_1 kg/s | t_1 °C | t_1'' °C | Δp_1 N/m ² | m_2 kg/s | t_2 °C | t_2'' °C | Δp_2 N/m ² | | |
| 1 | 0,0027 | 67 | 62,2897 | 161,81 | 0,00075 | 25,2 | 40,8 | 44,130 | | |
| 2 | 0,0027 | 66,9 | 60,8838 | 162,79 | 0,00101 | 26,2 | 41 | 69,627 | | |
| 3 | 0,0027 | 66,4 | 58,6181 | 161,81 | 0,00127 | 26,1 | 41,3 | 131,409 | | |
| 4 | 0,0027 | 65,9 | 56,9386 | 161,81 | 0,00146 | 26,4 | 41,6 | 162,790 | | |
| 5 | 0,0027 | 65,8 | 54,9342 | 159,848 | 0,00170 | 26,1 | 41,9 | 204,959 | | |
| 6 | 0,0027 | 65,6 | 54,562 | 159,848 | 0,00176 | 26,5 | 42 | 256,934 | | |
| 7 | 0,0027 | 65,3 | 53,291 | 156,906 | 0,00191 | 26,5 | 42,1 | 296,161 | | |
| 8 | 0,0027 | 65,5 | 52,912 | 157,887 | 0,00196 | 26,4 | 42,3 | 345,194 | | |
| 9 | 0,0027 | 65,3 | 51,5301 | 158,868 | 0,00217 | 26,7 | 42,4 | 409,918 | | |

| Nr. crt | Mărimi calculate | | | | | | | | | |
|---------|------------------|------------|------------|-----------------------------|---------|---------|-----------|-------------------|--------------------|---------|
| | Q_1 W | Q_2 W | Q_m W | k_2 W/m ² K | Φ | μ | λ | w_{zint} m/s | w_{zinet} m/s | |
| | 1 | 12,866 | 11,708 | 12,287 | 3,46939 | 0,10762 | 3,63943 | 0,14358 | 0,67441 | 0,64773 |
| 2 | 16,433 | 14,954 | 15,6936 | 4,61568 | 0,14117 | 2,7033 | 0,19102 | 0,90951 | 0,87353 | |
| 3 | 21,256 | 19,343 | 20,2995 | 6,26818 | 0,18441 | 2,14642 | 0,25941 | 1,14515 | 1,09985 | |
| 4 | 24,478 | 22,275 | 23,376 | 7,57471 | 0,21666 | 1,86393 | 0,31348 | 1,31959 | 1,26739 | |
| 5 | 29,679 | 27,008 | 28,3438 | 9,53754 | 0,26138 | 1,59792 | 0,39471 | 1,53863 | 1,47776 | |
| 6 | 30,150 | 27,436 | 28,7932 | 9,88552 | 0,2696 | 1,54312 | 0,40911 | 1,59375 | 1,5307 | |
| 7 | 32,802 | 29,850 | 31,3259 | 11,106 | 0,29558 | 1,4275 | 0,45962 | 1,72244 | 1,6543 | |
| 8 | 34,384 | 31,289 | 32,8364 | 11,7041 | 0,30746 | 1,38802 | 0,48437 | 1,77086 | 1,70081 | |
| 9 | 37,612 | 34,227 | 35,9194 | 13,3221 | 0,34068 | 1,25293 | 0,55133 | 1,96183 | 1,88422 | |

| Nr. crt | Mărimi calculate pentru generalizarea rezultatelor | | | | | | | | | |
|---------|--|------------|----------------|----------------------------------|--------------|-----------|------------|----------------------------------|---------|---------|
| | w_1 m/s | d_1 m | $Re_{incintă}$ | α_1 W/m ² K | w_2 m/s | Re_{z1} | Re_{z2m} | α_2 W/m ² K | cf | Nu |
| | 1 | 0,08833 | 0,193 | 232,807 | 34,6169 | 0,66107 | 1012,78 | 590,638 | 3,83892 | 1,29284 |
| 2 | 0,08813 | 0,193 | 231,797 | 36,0023 | 0,89152 | 1365,83 | 796,529 | 5,26384 | 1,12349 | 4,74562 |
| 3 | 0,08777 | 0,193 | 220,302 | 35,1162 | 1,1225 | 1719,7 | 1002,9 | 7,5651 | 1,33715 | 6,6314 |
| 4 | 0,08748 | 0,193 | 216,543 | 34,6173 | 1,29349 | 1981,66 | 1155,67 | 9,59012 | 1,24831 | 8,35376 |
| 5 | 0,08721 | 0,193 | 208,635 | 33,7643 | 1,50819 | 2310,59 | 1347,5 | 13,0883 | 1,15556 | 11,2442 |
| 6 | 0,08713 | 0,193 | 205,507 | 34,0161 | 1,56223 | 2393,37 | 1395,78 | 13,7129 | 1,35053 | 11,5042 |
| 7 | 0,08693 | 0,193 | 202,638 | 34,0315 | 1,68837 | 2586,63 | 1508,48 | 16,1761 | 1,33249 | 13,3466 |
| 8 | 0,08691 | 0,193 | 198,51 | 33,7899 | 1,73584 | 2659,34 | 1550,89 | 17,5386 | 1,46885 | 14,2822 |
| 9 | 0,0867 | 0,193 | 196,153 | 33,8364 | 1,92303 | 2946,12 | 1718,14 | 21,4228 | 1,42123 | 17,1657 |

Tub Field Φ 35 IIS, m_2 variabil, rugos în interior și exterior

| Nr. crt | Mărimi măsurate | | | | | | | | | |
|---------|---------------------------|-------------|---------------|----------------------------------|---------------|---------------------------|---------------|----------------------------------|--|--|
| | Proprietățile fluidului 1 | | | | | Proprietățile fluidului 2 | | | | |
| | m_1 kg/s | t_1 °C | t_1'' °C | Δp_1 N/m ² | m_2 kg/s | t_2 °C | t_2'' °C | Δp_2 N/m ² | | |
| 1 | 0,0026 | 66,2 | 61,4418 | 160,829 | 0,00067 | 28,8 | 45,6 | 41,188 | | |
| 2 | 0,0026 | 66,4 | 59,4707 | 160,829 | 0,00095 | 28,8 | 46,1 | 66,685 | | |
| 3 | 0,0026 | 67,1 | 58,4662 | 160,829 | 0,00117 | 28,9 | 46,5 | 158,868 | | |
| 4 | 0,0026 | 67,2 | 57,1172 | 161,81 | 0,00135 | 29 | 46,8 | 191,230 | | |
| 5 | 0,0026 | 66,9 | 55,3907 | 161,81 | 0,00153 | 29,1 | 47 | 200,056 | | |
| 6 | 0,0026 | 67 | 54,4236 | 159,848 | 0,00167 | 29,2 | 47,1 | 261,838 | | |
| 7 | 0,0026 | 66,8 | 53,1644 | 161,81 | 0,00180 | 29,3 | 47,3 | 316,755 | | |
| 8 | 0,0026 | 67 | 52,3504 | 158,868 | 0,00192 | 29,3 | 47,5 | 378,537 | | |
| 9 | 0,0026 | 67 | 51,3186 | 157,887 | 0,00204 | 29,3 | 47,6 | 448,164 | | |

| Nr. crt | Mărimi calculate | | | | | | | | | |
|---------|------------------|------------|------------|-----------------------------|---------|---------|-----------|-------------------|--------------------|---------|
| | Q_1 W | Q_2 W | Q_m W | k_2 W/m ² K | Φ | μ | λ | w_{zint} m/s | w_{zinet} m/s | |
| | 1 | 12,489 | 11,365 | 11,9273 | 4,03332 | 0,1215 | 3,87996 | 0,1737 | 0,61627 | 0,59183 |
| 2 | 18,188 | 16,551 | 17,3698 | 6,11471 | 0,176 | 2,74355 | 0,26334 | 0,87202 | 0,83744 | |
| 3 | 22,662 | 20,623 | 21,6425 | 7,71586 | 0,21585 | 2,2401 | 0,33229 | 1,06789 | 1,02554 | |
| 4 | 26,466 | 24,084 | 25,2746 | 9,29586 | 0,25207 | 1,93998 | 0,40033 | 1,23349 | 1,18458 | |
| 5 | 30,210 | 27,491 | 28,8505 | 11,1222 | 0,29078 | 1,70908 | 0,47899 | 1,4007 | 1,34515 | |
| 6 | 33,011 | 30,040 | 31,5254 | 12,4189 | 0,31774 | 1,56406 | 0,53483 | 1,53013 | 1,46945 | |
| 7 | 35,791 | 32,570 | 34,1803 | 13,9931 | 0,34725 | 1,45063 | 0,60262 | 1,64967 | 1,58425 | |
| 8 | 38,453 | 34,992 | 36,7222 | 15,305 | 0,3711 | 1,36523 | 0,65912 | 1,75237 | 1,68288 | |
| 9 | 41,161 | 37,456 | 39,3086 | 16,8139 | 0,39723 | 1,28241 | 0,7241 | 1,86457 | 1,79062 | |

| Nr. crt | Mărimi calculate pentru generalizarea rezultatelor | | | | | | | | | | |
|---------|--|------------|----------------|----------------------------------|--------------|-----------|------------|-----------|----------------------------------|---------|---------|
| | w_1 m/s | d_1 m | $Re_{incintă}$ | α_1 W/m ² K | w_2 m/s | Re_{z1} | Re_{zin} | Re_{zm} | α_2 W/m ² K | cf | Nu |
| | 1 | 0,08467 | 0,193 | 223,175 | 32,9564 | 0,60405 | 925,437 | 1311,21 | 539,663 | 4,57054 | 1,4651 |
| 2 | 0,08445 | 0,193 | 222,119 | 34,2669 | 0,85473 | 1309,49 | 1855,36 | 763,621 | 7,37941 | 1,18538 | 6,65291 |
| 3 | 0,08441 | 0,193 | 211,876 | 33,6191 | 1,04672 | 1603,63 | 2272,11 | 935,144 | 9,8975 | 1,88285 | 8,67593 |
| 4 | 0,08425 | 0,193 | 208,549 | 33,2248 | 1,20904 | 1852,31 | 2624,45 | 1080,16 | 12,7116 | 1,69925 | 11,0728 |
| 5 | 0,084 | 0,193 | 200,955 | 32,3759 | 1,37292 | 2103,39 | 2980,21 | 1226,58 | 16,5986 | 1,37914 | 14,2599 |
| 6 | 0,08389 | 0,193 | 197,858 | 32,5991 | 1,49979 | 2297,75 | 3255,59 | 1339,92 | 19,5842 | 1,51217 | 16,4297 |
| 7 | 0,08371 | 0,193 | 195,12 | 32,5939 | 1,61696 | 2477,28 | 3509,94 | 1444,61 | 23,8106 | 1,57371 | 19,6457 |
| 8 | 0,08363 | 0,193 | 191,028 | 32,3064 | 1,71763 | 2631,5 | 3728,45 | 1534,54 | 28,0818 | 1,6662 | 22,8679 |
| 9 | 0,0835 | 0,193 | 188,921 | 32,4136 | 1,8276 | 2799,98 | 3967,16 | 1632,79 | 33,5064 | 1,74151 | 26,8481 |

Tub Field Φ 30 lis, m_2 variabil, $h = 6$ mm

| Nr. crt | Mărimi măsurate | | | | | | | | | |
|---------|---------------------------|-------------|---------------|----------------------------------|---------------|---------------------------|---------------|----------------------------------|--|--|
| | Proprietățile fluidului 1 | | | | | Proprietățile fluidului 2 | | | | |
| | m_1 kg/s | t_1 °C | t_1'' °C | Δp_1 N/m ² | m_2 kg/s | t_2 °C | t_2'' °C | Δp_2 N/m ² | | |
| 1 | 0,00268 | 66,9 | 63,3368 | 162,79 | 0,00072 | 25,1 | 37,2 | 43,149 | | |
| 2 | 0,00268 | 67 | 61,2795 | 161,81 | 0,00106 | 25,5 | 38,8 | 104,931 | | |
| 3 | 0,00268 | 66,8 | 59,4503 | 163,771 | 0,00128 | 25,6 | 39,7 | 167,694 | | |
| 4 | 0,00268 | 65,4 | 56,6954 | 160,829 | 0,00151 | 25,9 | 40,1 | 233,398 | | |
| 5 | 0,00268 | 64,5 | 54,3039 | 160,829 | 0,00168 | 25,8 | 40,7 | 307,929 | | |
| 6 | 0,00268 | 64,7 | 53,1529 | 159,848 | 0,00183 | 25,7 | 41,2 | 353,039 | | |
| 7 | 0,00268 | 64,7 | 52,1233 | 161,81 | 0,00197 | 25,7 | 41,4 | 411,879 | | |
| 8 | 0,00268 | 64,5 | 50,8686 | 154,945 | 0,00208 | 26,1 | 42,2 | 456,009 | | |
| 9 | 0,00268 | 64,6 | 50,6158 | 157,887 | 0,00221 | 26,3 | 41,9 | 443,261 | | |

| Nr. crt | Mărimi calculate | | | | | | | | | |
|---------|------------------|------------|------------|-----------------------------|---------|---------|-----------|-------------------|-------------------|---------|
| | Q_1 W | Q_2 W | Q_m W | k_2 W/m ² K | Φ | μ | λ | w_{2int} m/s | w_{2net} m/s | |
| | 1 | 9,663 | 8,793 | 9,2277 | 2,56561 | 0,08141 | 3,73171 | 0,10071 | 0,88323 | 0,49682 |
| 2 | 15,513 | 14,117 | 14,8146 | 4,37112 | 0,13164 | 2,55493 | 0,17158 | 1,29349 | 0,72759 | |
| 3 | 19,931 | 18,137 | 19,034 | 5,8917 | 0,17036 | 2,10817 | 0,23127 | 1,56921 | 0,88268 | |
| 4 | 23,605 | 21,481 | 22,5428 | 7,57489 | 0,21045 | 1,79266 | 0,29734 | 1,84631 | 1,03855 | |
| 5 | 27,650 | 25,161 | 26,4053 | 9,51114 | 0,25161 | 1,60587 | 0,37334 | 2,06123 | 1,15944 | |
| 6 | 31,313 | 28,495 | 29,904 | 11,0493 | 0,28276 | 1,47509 | 0,43372 | 2,24445 | 1,2625 | |
| 7 | 34,105 | 31,036 | 32,5704 | 12,3236 | 0,30797 | 1,37181 | 0,48374 | 2,41282 | 1,35721 | |
| 8 | 36,965 | 33,639 | 35,302 | 14,1048 | 0,33901 | 1,29791 | 0,55366 | 2,55409 | 1,43667 | |
| 9 | 37,922 | 34,509 | 36,2155 | 14,4785 | 0,34869 | 1,22588 | 0,56833 | 2,70406 | 1,52103 | |

| Nr. crt | Mărimi calculate pentru generalizarea rezultatelor | | | | | | | | | | |
|---------|--|------------|----------------|----------------------------------|--------------|-----------|------------|-----------|----------------------------------|---------|---------|
| | w_1 m/s | d_1 m | $Re_{incintă}$ | α_1 W/m ² K | w_2 m/s | Re_{2i} | Re_{2in} | Re_{2m} | α_2 W/m ² K | cf | Nu |
| | 1 | 0,08781 | 0,193 | 231,452 | 34,7039 | 0,69002 | 1107,39 | 1610,75 | 604,033 | 2,7617 | 1,15326 |
| 2 | 0,08756 | 0,193 | 230,299 | 36,0186 | 1,01054 | 1621,78 | 2358,95 | 884,608 | 4,94783 | 1,3111 | 4,46072 |
| 3 | 0,08729 | 0,193 | 219,112 | 35,1627 | 1,22594 | 1967,47 | 2861,78 | 1073,17 | 7,02167 | 1,42515 | 6,15504 |
| 4 | 0,08676 | 0,193 | 214,746 | 34,4806 | 1,44243 | 2314,9 | 3367,13 | 1262,67 | 9,60051 | 1,43354 | 8,36281 |
| 5 | 0,08633 | 0,193 | 206,531 | 33,4874 | 1,61033 | 2584,36 | 3759,08 | 1409,65 | 13,0787 | 1,51759 | 11,236 |
| 6 | 0,08621 | 0,193 | 203,319 | 33,7057 | 1,75347 | 2814,09 | 4093,22 | 1534,96 | 16,1266 | 1,46774 | 13,5291 |
| 7 | 0,08607 | 0,193 | 200,634 | 33,7662 | 1,88502 | 3025,2 | 4400,29 | 1650,11 | 18,9745 | 1,48134 | 15,6556 |
| 8 | 0,08589 | 0,193 | 196,183 | 33,3213 | 1,99538 | 3202,31 | 4657,91 | 1746,72 | 23,7671 | 1,46588 | 19,3543 |
| 9 | 0,08587 | 0,193 | 194,268 | 33,5466 | 2,11255 | 3390,35 | 4931,41 | 1849,28 | 24,7287 | 1,27118 | 19,8146 |

Tub Field Φ 40 lis, m_2 variabil, $h = 6$ mm

| Nr. crt | Mărimi măsurate | | | | | | | | | |
|---------|---------------------------|-------------|---------------|----------------------------------|---------------|---------------------------|---------------|----------------------------------|--|--|
| | Proprietățile fluidului I | | | | | Proprietățile fluidului 2 | | | | |
| | m_1 kg/s | t_1 °C | t_1'' °C | Δp_1 N/m ² | m_2 kg/s | t_2 °C | t_2'' °C | Δp_2 N/m ² | | |
| 1 | 0,0026 | 60 | 56,4363 | 153,964 | 0,00086 | 28,5 | 38,4 | 20,594 | | |
| 2 | 0,0026 | 60,6 | 55,2007 | 153,964 | 0,00114 | 28,8 | 40,1 | 58,840 | | |
| 3 | 0,0026 | 61,5 | 53,2941 | 154,945 | 0,00144 | 28,8 | 42,4 | 112,776 | | |
| 4 | 0,0026 | 62,3 | 52,5758 | 152,984 | 0,00163 | 29 | 43,2 | 148,080 | | |
| 5 | 0,0026 | 62,6 | 51,4217 | 154,945 | 0,00182 | 28,8 | 43,4 | 188,288 | | |
| 6 | 0,0026 | 64 | 52,4136 | 152,984 | 0,00197 | 29,5 | 43,5 | 226,534 | | |
| 7 | 0,0026 | 64,4 | 51,4133 | 153,964 | 0,00213 | 29,1 | 43,6 | 273,606 | | |
| 8 | 0,0026 | 65 | 50,9522 | 155,926 | 0,00228 | 29,1 | 43,8 | 324,600 | | |
| 9 | 0,0026 | 65,3 | 50,1188 | 154,945 | 0,00241 | 29,1 | 44,1 | 371,672 | | |

| Nr. crt | Mărimi calculate | | | | | | | | | |
|---------|------------------|------------|------------|-----------------------------|---------|---------|-----------|-------------------|--------------------|---------|
| | Q_1 W | Q_2 W | Q_m W | k_2 W/m ² K | Φ | M | λ | w_{zint} m/s | w_{zinel} m/s | |
| | 1 | 9,354 | 8,512 | 8,93321 | 3,03141 | 0,10804 | 3,05274 | 0,13817 | 0,59242 | 1,05319 |
| 2 | 14,172 | 12,897 | 13,5345 | 4,85004 | 0,16215 | 2,29984 | 0,22105 | 0,78863 | 1,402 | |
| 3 | 21,539 | 19,600 | 20,5697 | 7,92877 | 0,23965 | 1,82126 | 0,36138 | 0,99905 | 1,77609 | |
| 4 | 25,524 | 23,227 | 24,3757 | 9,5841 | 0,27888 | 1,60469 | 0,43682 | 1,13532 | 2,01835 | |
| 5 | 29,341 | 26,700 | 28,0206 | 11,2259 | 0,31584 | 1,43528 | 0,51166 | 1,26883 | 2,25569 | |
| 6 | 30,412 | 27,675 | 29,0437 | 11,1957 | 0,32073 | 1,32782 | 0,51028 | 1,37278 | 2,44049 | |
| 7 | 34,088 | 31,020 | 32,5538 | 12,6283 | 0,35134 | 1,22695 | 0,57557 | 1,48422 | 2,63861 | |
| 8 | 36,873 | 33,554 | 35,2136 | 13,6749 | 0,37369 | 1,14992 | 0,62327 | 1,58336 | 2,81486 | |
| 9 | 39,848 | 36,262 | 38,0547 | 15,0688 | 0,4005 | 1,08579 | 0,68681 | 1,67692 | 2,98119 | |

| Nr. crt | Mărimi calculate pentru generalizarea rezultatelor | | | | | | | | | |
|---------|--|------------|----------------|----------------------------------|--------------|---------|-----------|----------------------------------|---------|---------|
| | w_1 m/s | d_1 m | $Re_{incintă}$ | α_1 W/m ² K | w_2 m/s | Re_2 | Re_{2m} | α_2 W/m ² K | cf | Nu |
| | 1 | 0,08327 | 0,193 | 219,477 | 32,3609 | 0,8228 | 1040,38 | 1440,53 | 640,237 | 0,39012 |
| 2 | 0,08319 | 0,193 | 218,805 | 33,6476 | 1,09531 | 1384,96 | 1917,63 | 852,281 | 0,6308 | 5,07514 |
| 3 | 0,08306 | 0,193 | 208,49 | 32,7998 | 1,38757 | 1754,49 | 2429,3 | 1079,69 | 0,75579 | 9,05162 |
| 4 | 0,08307 | 0,193 | 205,629 | 32,4978 | 1,57684 | 1993,81 | 2760,66 | 1226,96 | 0,76942 | 11,6475 |
| 5 | 0,08297 | 0,193 | 198,482 | 31,7951 | 1,76226 | 2228,27 | 3085,29 | 1371,24 | 0,78298 | 14,5923 |
| 6 | 0,08327 | 0,193 | 196,386 | 32,314 | 1,90663 | 2410,82 | 3338,06 | 1483,58 | 0,8055 | 14,0761 |
| 7 | 0,08319 | 0,193 | 193,919 | 32,4428 | 2,06142 | 2606,53 | 3609,04 | 1604,02 | 0,83148 | 16,64 |
| 8 | 0,08321 | 0,193 | 190,057 | 32,2359 | 2,19911 | 2780,64 | 3850,12 | 1711,16 | 0,86663 | 18,792 |
| 9 | 0,08314 | 0,193 | 188,102 | 32,3828 | 2,32905 | 2944,94 | 4077,62 | 1812,27 | 0,88468 | 21,8307 |

Tub Field Φ 19 lis, m_2 variabil, $h = 6$ mm

| Nr. crt | Mărimi măsurate | | | | | | | | | |
|---------|---------------------------|-------------|---------------|----------------------------------|---------------|---------------------------|---------------|----------------------------------|--|--|
| | Proprietățile fluidului 1 | | | | | Proprietățile fluidului 2 | | | | |
| | m_1 kg/s | t_1 °C | t_1'' °C | Δp_1 N/m ² | m_2 kg/s | t_2 °C | t_2'' °C | Δp_2 N/m ² | | |
| 1 | 0,002627 | 70,4 | 65,42338 | 152,9837 | 0,00071 | 24,5 | 41,3 | 73,550 | | |
| 2 | 0,002629 | 70,8 | 63,35402 | 152,9837 | 0,00099 | 24,3 | 42,4 | 115,718 | | |
| 3 | 0,002633 | 71,3 | 61,39754 | 150,0417 | 0,00124 | 23,9 | 43,2 | 181,423 | | |
| 4 | 0,002631 | 70,7 | 59,19203 | 152,9837 | 0,00142 | 24,1 | 43,7 | 194,172 | | |
| 5 | 0,00263 | 70,8 | 57,58151 | 153,9644 | 0,00158 | 24,2 | 44,3 | 233,398 | | |
| 6 | 0,002629 | 70,5 | 55,85813 | 152,9837 | 0,00174 | 24,3 | 44,6 | 288,316 | | |
| 7 | 0,002628 | 71,1 | 55,11489 | 153,9644 | 0,00189 | 24,4 | 44,8 | 341,271 | | |
| 8 | 0,002629 | 70,6 | 53,25989 | 152,0031 | 0,00201 | 24,3 | 45,1 | 382,459 | | |
| 9 | 0,002628 | 70,9 | 52,79056 | 149,0611 | 0,00209 | 24,4 | 45,3 | 410,899 | | |

| Nr. crt | Mărimi calculate | | | | | | | | | |
|---------|------------------|------------|------------|-----------------------------|----------|----------|----------|-------------------|--------------------|----------|
| | Q_1 W | Q_2 W | Q_m W | k_2 W/m ² K | Φ | M | χ | w_{2int} m/s | w_{2inel} m/s | |
| | 1 | 13,206 | 12,017 | 12,61132 | 3,955724 | 0,103544 | 3,709652 | 0,137058 | 0,642372 | 0,616898 |
| 2 | 19,771 | 17,992 | 18,88167 | 6,140629 | 0,152923 | 2,671255 | 0,212617 | 0,893624 | 0,858186 | |
| 3 | 26,330 | 23,960 | 25,1447 | 8,396264 | 0,199512 | 2,141769 | 0,290327 | 1,116052 | 1,071793 | |
| 4 | 30,578 | 27,826 | 29,20181 | 10,28917 | 0,235839 | 1,871612 | 0,356019 | 1,277585 | 1,226921 | |
| 5 | 35,111 | 31,951 | 33,53102 | 12,23506 | 0,270894 | 1,670986 | 0,423492 | 1,431575 | 1,374804 | |
| 6 | 38,879 | 35,380 | 37,12915 | 14,10271 | 0,302662 | 1,523555 | 0,488301 | 1,569748 | 1,507498 | |
| 7 | 42,440 | 38,620 | 40,53002 | 15,49487 | 0,32689 | 1,402404 | 0,536576 | 1,705074 | 1,637456 | |
| 8 | 46,068 | 41,922 | 43,99514 | 17,59716 | 0,357663 | 1,318166 | 0,608967 | 1,81511 | 1,74313 | |
| 9 | 48,114 | 43,783 | 45,94842 | 18,52973 | 0,371925 | 1,268235 | 0,641221 | 1,887018 | 1,812186 | |

| Nr. crt | Mărimi calculate pentru generalizarea rezultatelor | | | | | | | | | |
|---------|--|------------|----------------|----------------------------------|--------------|-----------|-----------|----------------------------------|----------|----------|
| | w_1 m/s | d_1 m | $Re_{incintă}$ | α_1 W/m ² K | w_2 m/s | Re_{ei} | Re_{2m} | α_2 W/m ² K | cf | Nu |
| | 1 | 0,086645 | 0,193 | 228,3727 | 34,42815 | 0,629635 | 952,2463 | 741,9495 | 1162,543 | 4,446386 |
| 2 | 0,086491 | 0,193 | 227,4874 | 35,84204 | 0,875905 | 1324,7 | 1032,149 | 1617,251 | 7,350063 | 1,931916 |
| 3 | 0,086424 | 0,193 | 216,9283 | 35,11983 | 1,093922 | 1654,425 | 1289,057 | 2019,793 | 10,89879 | 1,941875 |
| 4 | 0,086007 | 0,193 | 212,8877 | 34,56318 | 1,252253 | 1893,88 | 1475,63 | 2312,13 | 14,4088 | 1,587613 |
| 5 | 0,085785 | 0,193 | 205,2266 | 33,73218 | 1,403189 | 2122,153 | 1653,49 | 2590,815 | 18,77563 | 1,521021 |
| 6 | 0,085499 | 0,193 | 201,6494 | 33,85684 | 1,538623 | 2326,98 | 1813,083 | 2840,877 | 23,50654 | 1,562865 |
| 7 | 0,085452 | 0,193 | 199,1877 | 33,99586 | 1,671265 | 2527,585 | 1969,386 | 3085,784 | 27,55853 | 1,567878 |
| 8 | 0,085182 | 0,193 | 194,5694 | 33,55648 | 1,77912 | 2690,702 | 2096,48 | 3284,925 | 35,45278 | 1,550398 |
| 9 | 0,085135 | 0,193 | 192,6125 | 33,75029 | 1,849602 | 2797,298 | 2179,534 | 3415,061 | 39,19911 | 1,541476 |

Tub U₁, m₂ variabil

| Nr. crt | Mărimi măsurate | | | | | | Proprietățile fluidului 1 | | | | | | Proprietățile fluidului 2 | | | | | |
|---------|------------------------|----------------------|------------------------------------|-------------------------------------|------------------------|----------------------|------------------------------------|-------------------------------------|------------------------|---------------------------|------------------------------------|-------------------------------------|---------------------------|----------------------|------------------------------------|-------------------------------------|--|--|
| | Mărimi măsurate | | | Proprietățile fluidului 1 | | | Mărimi măsurate | | | Proprietățile fluidului 2 | | | Mărimi măsurate | | | Proprietățile fluidului 2 | | |
| | m ₁ kg/s | t ₁ °C | t ₁ ^{II} °C | Δp ₁ N/m ² | m ₂ kg/s | t ₂ °C | t ₂ ^{II} °C | Δp ₂ N/m ² | m ₁ kg/s | t ₁ °C | t ₁ ^{II} °C | Δp ₁ N/m ² | m ₂ kg/s | t ₂ °C | t ₂ ^{II} °C | Δp ₂ N/m ² | | |
| 1 | 0,002606 | 60 | 54,7091 | 152,0031 | 0,00084 | 27 | 42,1 | 34,323 | 0,002606 | 60 | 54,7091 | 152,0031 | 0,00084 | 27 | 42,1 | 34,323 | | |
| 2 | 0,002606 | 60,1 | 52,46889 | 154,9451 | 0,00118 | 27,5 | 42,9 | 70,608 | 0,002606 | 60,1 | 52,46889 | 154,9451 | 0,00118 | 27,5 | 42,9 | 70,608 | | |
| 3 | 0,002606 | 60 | 50,8359 | 152,9837 | 0,00145 | 27,5 | 42,6 | 70,608 | 0,002606 | 60 | 50,8359 | 152,9837 | 0,00145 | 27,5 | 42,6 | 70,608 | | |
| 4 | 0,002606 | 60 | 49,55836 | 153,9644 | 0,00167 | 27,4 | 42,3 | 141,216 | 0,002606 | 60 | 49,55836 | 153,9644 | 0,00167 | 27,4 | 42,3 | 141,216 | | |
| 5 | 0,002606 | 60 | 48,79599 | 154,9451 | 0,00187 | 27,9 | 42,2 | 169,655 | 0,002606 | 60 | 48,79599 | 154,9451 | 0,00187 | 27,9 | 42,2 | 169,655 | | |
| 6 | 0,002606 | 61 | 49,06994 | 152,9837 | 0,00205 | 28 | 41,9 | 206,920 | 0,002606 | 61 | 49,06994 | 152,9837 | 0,00205 | 28 | 41,9 | 206,920 | | |
| 7 | 0,002606 | 63 | 50,48255 | 153,9644 | 0,00220 | 28,2 | 41,8 | 244,186 | 0,002606 | 63 | 50,48255 | 153,9644 | 0,00220 | 28,2 | 41,8 | 244,186 | | |
| 8 | 0,002606 | 63 | 49,71988 | 153,9644 | 0,00237 | 28,2 | 41,6 | 277,528 | 0,002606 | 63 | 49,71988 | 153,9644 | 0,00237 | 28,2 | 41,6 | 277,528 | | |
| 9 | 0,002606 | 64 | 50,20901 | 152,9837 | 0,00244 | 28,4 | 41,9 | 292,238 | 0,002606 | 64 | 50,20901 | 152,9837 | 0,00244 | 28,4 | 41,9 | 292,238 | | |

| Nr. crt | Mărimi calculate | | | | | | | | | | |
|---------|---------------------|---------------------|---------------------|--------------------------------------|----------|----------|----------|--------------------------------------|--------------------------------------|------------------|----------|
| | Q ₁ W | Q ₂ W | Q _m W | k ₂ W/m ² K | Φ | μ | λ | α ₁ W/m ² K | α ₂ W/m ² K | Re _{2m} | Nu |
| 1 | 13,924 | 12,670 | 13,29702 | 5,179615 | 0,153115 | 3,136218 | 0,225084 | 75,51361 | 5,53813 | 1657,927 | 6,753817 |
| 2 | 20,082 | 18,275 | 19,17844 | 8,045793 | 0,223355 | 2,217641 | 0,349636 | 74,99052 | 8,952287 | 2348,776 | 10,94029 |
| 3 | 24,116 | 21,946 | 23,03112 | 9,958655 | 0,269284 | 1,810697 | 0,432761 | 74,8598 | 11,38849 | 2875,252 | 13,94671 |
| 4 | 27,478 | 25,005 | 26,24181 | 11,56261 | 0,305882 | 1,568109 | 0,502462 | 74,77975 | 13,53821 | 3315,589 | 16,62588 |
| 5 | 29,485 | 26,831 | 28,15779 | 12,75329 | 0,333328 | 1,40256 | 0,554204 | 74,50097 | 15,21068 | 3708,31 | 18,67978 |
| 6 | 31,395 | 28,570 | 29,98251 | 13,06399 | 0,345249 | 1,280356 | 0,567706 | 74,69759 | 15,64657 | 4059,44 | 19,1613 |
| 7 | 32,941 | 29,976 | 31,45871 | 12,65541 | 0,34351 | 1,193938 | 0,549951 | 75,29033 | 15,04157 | 4352,373 | 18,3818 |
| 8 | 34,948 | 31,803 | 33,37546 | 13,59973 | 0,36444 | 1,108821 | 0,590987 | 75,02999 | 16,40629 | 4683,418 | 20,07763 |
| 9 | 36,293 | 33,026 | 34,65938 | 13,80492 | 0,369955 | 1,075714 | 0,599904 | 75,18916 | 16,69842 | 4830,776 | 20,36392 |

| Nr. crt | Mărimi calculate pentru generalizarea rezultatelor | | | | | | | | | |
|---------|--|---------------------|-----------------------|--------------------------------------|-----------------------|------------------|--------------------------------------|----------|----------|--|
| | w ₁ m/s | d ₁ m | Re _{incintă} | α ₁ W/m ² K | w ₂ m/s | Re _{2m} | α ₂ W/m ² K | cf | Nu | |
| 1 | 0,211884 | 0,12099 | 396,5751 | 75,51361 | 0,757909 | 1657,927 | 5,53813 | 0,8753 | 6,753817 | |
| 2 | 0,211192 | 0,12099 | 397,4041 | 74,99052 | 1,073726 | 2348,776 | 8,952287 | 0,898732 | 10,94029 | |
| 3 | 0,21064 | 0,12099 | 398,5086 | 74,8598 | 1,314401 | 2875,252 | 11,38849 | 0,599446 | 13,94671 | |
| 4 | 0,210229 | 0,12099 | 399,8912 | 74,77975 | 1,515698 | 3315,589 | 13,53821 | 0,90038 | 16,62588 | |
| 5 | 0,209982 | 0,12099 | 399,4223 | 74,50097 | 1,695227 | 3708,31 | 15,21068 | 0,865046 | 18,67978 | |
| 6 | 0,210395 | 0,12099 | 398,0439 | 74,69759 | 1,855744 | 4059,44 | 15,64657 | 0,879822 | 19,1613 | |
| 7 | 0,211487 | 0,12099 | 397,9593 | 75,29033 | 1,989656 | 4352,373 | 15,04157 | 0,903032 | 18,3818 | |
| 8 | 0,211242 | 0,12099 | 397,4991 | 75,02999 | 2,140991 | 4683,418 | 16,40629 | 0,885794 | 20,07763 | |
| 9 | 0,211722 | 0,12099 | 396,2711 | 75,18916 | 2,208355 | 4830,776 | 16,69842 | 0,877292 | 20,36392 | |

Tub Field Φ 35 IIS, t_1^I variabil, $h = 6$ mm

| Nr. crt | Mărimi măsurate | | | | | | Proprietățile fluidului 1 | | | | | | Proprietățile fluidului 2 | | | | | |
|---------|-----------------|---------------|------------------|----------------------------------|---------------|-------------|---------------------------|----------------------------------|---------------|---------------------------|------------------|----------------------------------|---------------------------|-------------|------------------|----------------------------------|--|--|
| | Mărimi măsurate | | | Proprietățile fluidului 1 | | | Mărimi măsurate | | | Proprietățile fluidului 2 | | | Mărimi măsurate | | | Proprietățile fluidului 2 | | |
| | m_1 kg/s | t_1^I °C | t_1^{II} °C | Δp_1 N/m ² | m_2 kg/s | t_2 °C | t_2^{II} °C | Δp_2 N/m ² | m_1 kg/s | t_1^I °C | t_1^{II} °C | Δp_1 N/m ² | m_2 kg/s | t_2 °C | t_2^{II} °C | Δp_2 N/m ² | | |
| 1 | 0,002517 | 70 | 54,7887 | 153,9644 | 0,00217 | 28,6 | 44,8 | 401,092 | 0,00217 | 29,1 | 45,7 | 401,092 | 0,00217 | 28,9 | 46,2 | 402,073 | | |
| 2 | 0,002517 | 80 | 64,41312 | 155,9257 | 0,00217 | 28,7 | 47,7 | 404,034 | 0,00217 | 29,1 | 48,9 | 402,073 | 0,00217 | 29,3 | 49,4 | 398,150 | | |
| 3 | 0,002517 | 90 | 73,75584 | 154,9451 | 0,00217 | 28,8 | 51,7 | 399,131 | 0,00217 | 29,3 | 50,5 | 400,111 | 0,00217 | 28,8 | 51,7 | 399,131 | | |
| 4 | 0,002517 | 100 | 82,15959 | 156,9064 | 0,00217 | 29,3 | 53,4 | 399,131 | 0,00217 | 29,3 | 53,4 | 399,131 | 0,00217 | 29,3 | 53,4 | 399,131 | | |
| 5 | 0,002517 | 110 | 91,40841 | 152,9837 | 0,00217 | 29,3 | 53,4 | 399,131 | 0,00217 | 29,3 | 53,4 | 399,131 | 0,00217 | 29,3 | 53,4 | 399,131 | | |
| 6 | 0,002517 | 120 | 101,1267 | 153,9644 | 0,00217 | 29,3 | 53,4 | 399,131 | 0,00217 | 29,3 | 53,4 | 399,131 | 0,00217 | 29,3 | 53,4 | 399,131 | | |
| 7 | 0,002517 | 130 | 110,0939 | 153,9644 | 0,00217 | 29,3 | 53,4 | 399,131 | 0,00217 | 29,3 | 53,4 | 399,131 | 0,00217 | 29,3 | 53,4 | 399,131 | | |
| 8 | 0,002517 | 140 | 118,4976 | 152,9837 | 0,00217 | 29,3 | 53,4 | 399,131 | 0,00217 | 29,3 | 53,4 | 399,131 | 0,00217 | 29,3 | 53,4 | 399,131 | | |
| 9 | 0,002517 | 150 | 127,3708 | 156,9064 | 0,00217 | 29,3 | 53,4 | 399,131 | 0,00217 | 29,3 | 53,4 | 399,131 | 0,00217 | 29,3 | 53,4 | 399,131 | | |

| Nr. crt | Mărimi calculate | | | | | | | | | | | |
|---------|------------------|------------|------------|-----------------------------|------------------|----------|-----------|-------------------|-------------------|-------------------|----------------------------------|----------|
| | Mărimi calculate | | | | Mărimi calculate | | | | Mărimi calculate | | | |
| | Q_1 W | Q_2 W | Q_m W | k_2 W/m ² K | Φ | μ | λ | w_{zint} m/s | w_{zint} m/s | w_{zint} m/s | α_2 W/m ² K | cf |
| 1 | 38,666 | 35,186 | 36,9258 | 12,71492 | 0,350889 | 1,170327 | 0,565439 | 1,968388 | 1,968388 | 1,968388 | 1,3913 | 17,53911 |
| 2 | 39,620 | 36,055 | 37,83755 | 9,617461 | 0,292445 | 1,170327 | 0,427693 | 1,972837 | 1,972837 | 1,972837 | 1,388162 | 10,91188 |
| 3 | 41,291 | 37,575 | 39,43311 | 7,869952 | 0,253898 | 1,170327 | 0,349981 | 1,973771 | 1,973771 | 1,973771 | 1,390897 | 8,157711 |
| 4 | 45,349 | 41,267 | 43,30804 | 7,245427 | 0,238956 | 1,170327 | 0,322208 | 1,977864 | 1,977864 | 1,977864 | 1,39479 | 7,144699 |
| 5 | 47,258 | 43,005 | 45,13153 | 6,470637 | 0,219468 | 1,170327 | 0,287752 | 1,982987 | 1,982987 | 1,982987 | 1,384433 | 6,066411 |
| 6 | 47,974 | 43,657 | 45,81535 | 5,691517 | 0,198721 | 1,170327 | 0,253105 | 1,985288 | 1,985288 | 1,985288 | 1,369338 | 5,100907 |
| 7 | 50,600 | 46,046 | 48,32265 | 5,333855 | 0,188782 | 1,170327 | 0,237199 | 1,988745 | 1,988745 | 1,988745 | 1,373691 | 4,640267 |
| 8 | 54,657 | 49,738 | 52,19758 | 5,188514 | 0,184665 | 1,170327 | 0,230736 | 1,990989 | 1,990989 | 1,990989 | 1,36878 | 4,399248 |
| 9 | 57,521 | 52,344 | 54,93283 | 4,992719 | 0,179046 | 1,170327 | 0,222029 | 1,997981 | 1,997981 | 1,997981 | 1,36399 | 4,239401 |

| Nr. crt | Mărimi calculate pentru generalizarea rezultatelor | | | | | | | | | | | |
|---------|--|------------|----------------|----------------------------------|------------------|-----------|------------|------------|----------------------------------|----------|----------|--|
| | Mărimi calculate | | | | Mărimi calculate | | | | Mărimi calculate | | | |
| | w_1 m/s | d_1 m | $Re_{incintă}$ | α_1 W/m ² K | w_2 m/s | Re_{z1} | Re_{z2m} | Re_{z2m} | α_2 W/m ² K | cf | Nu | |
| 1 | 0,081656 | 0,193 | 211,687 | 33,74845 | 1,929358 | 2939,797 | 4165,27 | 1714,325 | 19,92442 | 1,3913 | 17,53911 | |
| 2 | 0,084043 | 0,193 | 207,3098 | 35,44624 | 1,933719 | 2934,201 | 4157,342 | 1711,061 | 13,00696 | 1,388162 | 10,91188 | |
| 3 | 0,086399 | 0,193 | 203,1002 | 36,12412 | 1,934635 | 2928,362 | 4149,068 | 1707,656 | 9,952407 | 1,390897 | 8,157711 | |
| 4 | 0,088637 | 0,193 | 199,6428 | 36,77284 | 1,938647 | 2922,15 | 4140,266 | 1704,033 | 8,936589 | 1,39479 | 7,144699 | |
| 5 | 0,090984 | 0,193 | 196,2894 | 37,28294 | 1,943668 | 2917,504 | 4133,683 | 1701,324 | 7,765006 | 1,384433 | 6,066411 | |
| 6 | 0,093384 | 0,193 | 192,3054 | 37,53256 | 1,945923 | 2913,947 | 4128,644 | 1699,25 | 6,661784 | 1,369338 | 5,100907 | |
| 7 | 0,095692 | 0,193 | 188,5342 | 37,67018 | 1,949312 | 2908,652 | 4121,142 | 1696,162 | 6,173412 | 1,373691 | 4,640267 | |
| 8 | 0,097934 | 0,193 | 185,0598 | 37,89369 | 1,951511 | 2896,67 | 4104,165 | 1689,175 | 5,974178 | 1,36878 | 4,399248 | |
| 9 | 0,100227 | 0,193 | 182,0328 | 37,19475 | 1,958364 | 2893,04 | 4099,022 | 1687,059 | 5,73167 | 1,36399 | 4,239401 | |

Tub Field Φ 35 lis, t_1' variabil, $h = 13$ mm

| Nr. crt | Mărimi măsurate | | | | | | Proprietățile fluidului 1 | | | | | | Proprietățile fluidului 2 | | | | | |
|---------|---------------------------|-------------|---------------|----------------------------------|---------------|-------------|---------------------------|----------------------------------|---------------|---------------------------|---------------|----------------------------------|---------------------------|-------------|---------------|----------------------------------|--|--|
| | Proprietățile fluidului 1 | | | Proprietățile fluidului 2 | | | Proprietățile fluidului 1 | | | Proprietățile fluidului 2 | | | Proprietățile fluidului 1 | | | Proprietățile fluidului 2 | | |
| | m_1 kg/s | t_1 °C | t_1'' °C | Δp_1 N/m ² | m_2 kg/s | t_2 °C | t_2'' °C | Δp_2 N/m ² | m_1 kg/s | t_1 °C | t_1'' °C | Δp_1 N/m ² | m_2 kg/s | t_2 °C | t_2'' °C | Δp_2 N/m ² | | |
| 1 | 0,002551 | 70 | 57,21757 | 154,9451 | 0,00230 | 29,5 | 42,5 | 357,943 | 0,002551 | 70 | 57,21757 | 154,9451 | 0,00230 | 29,5 | 42,5 | 357,943 | | |
| 2 | 0,002551 | 80 | 64,46443 | 151,0224 | 0,00230 | 29,5 | 45,3 | 357,943 | 0,002551 | 80 | 64,46443 | 151,0224 | 0,00230 | 29,5 | 45,3 | 357,943 | | |
| 3 | 0,002551 | 90 | 74,26778 | 150,0417 | 0,00230 | 29,4 | 45,4 | 357,943 | 0,002551 | 90 | 74,26778 | 150,0417 | 0,00230 | 29,4 | 45,4 | 357,943 | | |
| 4 | 0,002551 | 100 | 83,57949 | 151,0224 | 0,00230 | 29,8 | 46,5 | 357,943 | 0,002551 | 100 | 83,57949 | 151,0224 | 0,00230 | 29,8 | 46,5 | 357,943 | | |
| 5 | 0,002551 | 110 | 91,80962 | 151,0224 | 0,00230 | 29,3 | 47,8 | 364,807 | 0,002551 | 110 | 91,80962 | 151,0224 | 0,00230 | 29,3 | 47,8 | 364,807 | | |
| 6 | 0,002551 | 120 | 99,84309 | 154,9451 | 0,00230 | 29,8 | 50,3 | 359,904 | 0,002551 | 120 | 99,84309 | 154,9451 | 0,00230 | 29,8 | 50,3 | 359,904 | | |
| 7 | 0,002551 | 130 | 109,0565 | 152,9837 | 0,00230 | 29,9 | 51,2 | 363,827 | 0,002551 | 130 | 109,0565 | 152,9837 | 0,00230 | 29,9 | 51,2 | 363,827 | | |
| 8 | 0,002551 | 140 | 117,5816 | 152,9837 | 0,00230 | 29,8 | 52,6 | 359,904 | 0,002551 | 140 | 117,5816 | 152,9837 | 0,00230 | 29,8 | 52,6 | 359,904 | | |
| 9 | 0,002551 | 150 | 125,6151 | 153,9644 | 0,00230 | 29,9 | 54,7 | 363,827 | 0,002551 | 150 | 125,6151 | 153,9644 | 0,00230 | 29,9 | 54,7 | 363,827 | | |

Mărimi calculate

| Nr. crt | Q_1 W | Q_2 W | Q_m W | k_2 W/m ² K | Φ | μ | λ | w_{zint} m/s | w_{zint} m/s |
|---------|------------|------------|------------|-----------------------------|----------|----------|-----------|-------------------|-------------------|
| | 1 | 32,938 | 29,973 | 31,45534 | 10,14806 | 0,301413 | 1,117605 | 0,442152 | 2,085683 |
| 2 | 40,032 | 36,429 | 38,23033 | 9,776033 | 0,293792 | 1,117605 | 0,425943 | 2,095133 | 2,012047 |
| 3 | 40,538 | 36,890 | 38,71426 | 7,708488 | 0,247925 | 1,117605 | 0,33586 | 2,095133 | 2,012047 |
| 4 | 42,312 | 38,504 | 40,40801 | 6,709888 | 0,223384 | 1,117605 | 0,292351 | 2,100195 | 2,016909 |
| 5 | 46,873 | 42,654 | 44,76336 | 6,394215 | 0,215264 | 1,117605 | 0,278597 | 2,102753 | 2,019366 |
| 6 | 51,940 | 47,265 | 49,60265 | 6,323229 | 0,213413 | 1,117605 | 0,275504 | 2,112979 | 2,029186 |
| 7 | 53,967 | 49,110 | 51,53836 | 5,812426 | 0,199811 | 1,117605 | 0,253248 | 2,116272 | 2,032348 |
| 8 | 57,767 | 52,568 | 55,16782 | 5,609984 | 0,194279 | 1,117605 | 0,244428 | 2,120741 | 2,03664 |
| 9 | 62,835 | 57,180 | 60,0071 | 5,596278 | 0,193902 | 1,117605 | 0,243831 | 2,128084 | 2,043691 |

Mărimi calculate pentru generalizarea rezultatelor

| Nr. crt | w_1 m/s | d_1 m | $Re_{incintă}$ | α_1 W/m ² K | w_2 m/s | Re_{zi} | Re_{zin} | Re_{zm} | α_2 W/m ² K | cf | Nu |
|---------|--------------|------------|----------------|----------------------------------|--------------|-----------|------------|-----------|----------------------------------|----------|----------|
| | 1 | 0,083075 | 0,193 | 215,3658 | 34,42743 | 2,044328 | 3114,979 | 4413,477 | 1816,481 | 14,15549 | 1,113076 |
| 2 | 0,085207 | 0,193 | 210,1795 | 35,8209 | 2,05359 | 3116,093 | 4415,055 | 1817,13 | 13,24878 | 1,108056 | 11,11475 |
| 3 | 0,087651 | 0,193 | 206,0448 | 36,55215 | 2,05359 | 3108,419 | 4404,183 | 1812,655 | 9,666417 | 1,108056 | 7,923293 |
| 4 | 0,090034 | 0,193 | 202,7879 | 37,25816 | 2,058552 | 3102,885 | 4396,342 | 1809,428 | 8,113243 | 1,105385 | 6,486443 |
| 5 | 0,092283 | 0,193 | 199,0927 | 37,72445 | 2,061059 | 3093,712 | 4383,345 | 1804,079 | 7,637591 | 1,125214 | 5,966868 |
| 6 | 0,094505 | 0,193 | 194,6154 | 37,80907 | 2,071082 | 3101,368 | 4394,193 | 1808,544 | 7,533299 | 1,104717 | 5,768223 |
| 7 | 0,096878 | 0,193 | 190,8701 | 37,97357 | 2,07431 | 3095,167 | 4385,407 | 1804,928 | 6,814212 | 1,11502 | 5,121927 |
| 8 | 0,099164 | 0,193 | 187,3849 | 38,19837 | 2,078691 | 3085,445 | 4371,632 | 1799,258 | 6,531281 | 1,100674 | 4,809485 |
| 9 | 0,101388 | 0,193 | 184,1418 | 37,45873 | 2,085888 | 3081,427 | 4365,939 | 1796,915 | 6,533828 | 1,108832 | 4,832713 |

Tub Field Φ 35 lis, t_1^I variabil, $h = 22$ mm

| Nr. crt | Mărimi măsurate | | | | | | | | | |
|---------|---------------------------|---------------|------------------|----------------------------------|---------------|---------------------------|------------------|----------------------------------|--|--|
| | Proprietățile fluidului 1 | | | | | Proprietățile fluidului 2 | | | | |
| | m_1 kg/s | t_1^I °C | t_1^{II} °C | Δp_1 N/m ² | m_2 kg/s | t_2 °C | t_2^{II} °C | Δp_2 N/m ² | | |
| 1 | 0,002558 | 70 | 56,55098 | 155,9257 | 0,00227 | 28,1 | 42 | 372,653 | | |
| 2 | 0,002672 | 80 | 65,54872 | 156,9064 | 0,00227 | 27,2 | 42,8 | 372,653 | | |
| 3 | 0,002632 | 90 | 75,23737 | 155,9257 | 0,00227 | 27,9 | 43,6 | 370,691 | | |
| 4 | 0,002639 | 100 | 83,21106 | 156,9064 | 0,00227 | 27,1 | 45 | 372,653 | | |
| 5 | 0,002599 | 110 | 91,33301 | 153,9644 | 0,00227 | 27,7 | 47,3 | 365,788 | | |
| 6 | 0,002565 | 120 | 101,0864 | 154,9451 | 0,00227 | 28,5 | 48,1 | 370,691 | | |
| 7 | 0,002551 | 130 | 109,4328 | 154,9451 | 0,00227 | 28,4 | 49,6 | 369,711 | | |
| 8 | 0,002558 | 140 | 118,1332 | 153,9644 | 0,00227 | 28,8 | 51,4 | 369,711 | | |
| 9 | 0,002599 | 150 | 127,0472 | 156,9064 | 0,00227 | 29,3 | 53,4 | 370,691 | | |

| Nr. crt | Mărimi calculate | | | | | | | | | |
|---------|------------------|------------|------------|-----------------------------|----------|----------|-----------|-------------------|--------------------|----------|
| | Q_1 W | Q_2 W | Q_m W | k_2 W/m ² K | Φ | μ | λ | w_{zint} m/s | w_{zinel} m/s | |
| | 1 | 34,748 | 31,621 | 33,18455 | 10,56527 | 0,306535 | 1,13575 | 0,455053 | 2,051249 | 1,969904 |
| 2 | 38,998 | 35,488 | 37,2431 | 8,860511 | 0,261382 | 1,186252 | 0,365381 | 2,050916 | 1,969584 | |
| 3 | 39,248 | 35,716 | 37,48183 | 7,186695 | 0,227026 | 1,168677 | 0,300815 | 2,05595 | 1,974418 | |
| 4 | 44,748 | 40,720 | 42,73406 | 6,912546 | 0,219937 | 1,171624 | 0,288612 | 2,057908 | 1,976299 | |
| 5 | 48,997 | 44,588 | 46,79261 | 6,656944 | 0,21661 | 1,153826 | 0,282227 | 2,067703 | 1,985705 | |
| 6 | 48,997 | 44,588 | 46,79261 | 5,820498 | 0,197404 | 1,138782 | 0,250025 | 2,07293 | 1,990725 | |
| 7 | 52,997 | 48,228 | 50,61241 | 5,634745 | 0,193324 | 1,132709 | 0,243344 | 2,077612 | 1,995221 | |
| 8 | 56,497 | 51,412 | 53,95474 | 5,449813 | 0,187795 | 1,13575 | 0,234727 | 2,084936 | 2,002255 | |
| 9 | 60,247 | 54,825 | 57,53581 | 5,320734 | 0,181606 | 1,153826 | 0,225577 | 2,09324 | 2,01023 | |

| Nr. crt | Mărimi calculate pentru generalizarea rezultatelor | | | | | | | | | |
|---------|--|------------|----------------|----------------------------------|--------------|------------|------------|----------------------------------|----------|----------|
| | w_1 m/s | d_1 m | $Re_{incintă}$ | α_1 W/m ² K | w_2 m/s | Re_{z_1} | Re_{z_m} | α_2 W/m ² K | cf | Nu |
| | 1 | 0,083215 | 0,193 | 215,7281 | 34,5511 | 2,010577 | 3063,551 | 4340,612 | 1786,491 | 1,207144 |
| 2 | 0,089369 | 0,193 | 220,4475 | 37,43978 | 2,01025 | 3050,329 | 4321,878 | 1778,78 | 1,20734 | 9,619964 |
| 3 | 0,090553 | 0,193 | 212,8654 | 37,63806 | 2,015184 | 3050,286 | 4321,817 | 1778,755 | 1,198045 | 7,213672 |
| 4 | 0,093075 | 0,193 | 209,6368 | 38,34695 | 2,017103 | 3040,408 | 4307,822 | 1772,995 | 1,203238 | 6,683703 |
| 5 | 0,093941 | 0,193 | 202,6694 | 38,29034 | 2,026704 | 3042,144 | 4310,28 | 1774,007 | 1,175479 | 6,243251 |
| 6 | 0,095166 | 0,193 | 195,9765 | 38,13078 | 2,031828 | 3042,586 | 4310,907 | 1774,265 | 1,188232 | 5,222402 |
| 7 | 0,096923 | 0,193 | 190,9579 | 38,06781 | 2,036416 | 3038,624 | 4305,293 | 1771,955 | 1,182418 | 4,937299 |
| 8 | 0,099498 | 0,193 | 188,0151 | 38,35306 | 2,043596 | 3033,353 | 4297,825 | 1768,881 | 1,178264 | 4,64739 |
| 9 | 0,103456 | 0,193 | 187,8964 | 38,09698 | 2,051735 | 3030,974 | 4294,455 | 1767,494 | 1,176703 | 4,54515 |

Tub Field Φ 35 lis, t_1 variabil, rugos în interior

| Nr. crt | Mărimi măsurate | | | | | | | | | |
|---------|---------------------------|-------------|---------------|----------------------------------|---------------|---------------------------|---------------|----------------------------------|--|--|
| | Proprietățile fluidului 1 | | | | | Proprietățile fluidului 2 | | | | |
| | m_1 kg/s | t_1 °C | t_1'' °C | Δp_1 N/m ² | m_2 kg/s | t_2 °C | t_2'' °C | Δp_2 N/m ² | | |
| 1 | 0,002691 | 70 | 58,17723 | 156,9064 | 0,00226 | 28,5 | 41,4 | 371,672 | | |
| 2 | 0,002691 | 80 | 67,71899 | 155,9257 | 0,00226 | 28,5 | 41,9 | 370,691 | | |
| 3 | 0,002691 | 90 | 76,71084 | 155,9257 | 0,00226 | 28,6 | 43,1 | 370,691 | | |
| 4 | 0,002691 | 100 | 86,2526 | 153,9644 | 0,00226 | 28,7 | 43,7 | 367,749 | | |
| 5 | 0,002691 | 110 | 95,24445 | 154,9451 | 0,00226 | 28,7 | 44,8 | 370,691 | | |
| 6 | 0,002691 | 120 | 103,9614 | 154,9451 | 0,00226 | 28,7 | 46,2 | 372,653 | | |
| 7 | 0,002691 | 130 | 112,4974 | 156,9064 | 0,00226 | 28,7 | 47,8 | 369,711 | | |
| 8 | 0,002691 | 140 | 120,945 | 156,9064 | 0,00226 | 29,2 | 50 | 368,730 | | |
| 9 | 0,002691 | 150 | 128,2069 | 157,8871 | 0,00226 | 29,4 | 53,2 | 369,711 | | |

| Nr. crt | Mărimi calculate | | | | | | | | | |
|---------|------------------|------------|------------|-----------------------------|----------|----------|-----------|-------------------|-------------------|--|
| | Q_1 W | Q_2 W | Q_m W | k_2 W/m ² K | Φ | μ | λ | w_{zint} m/s | w_{zind} m/s | |
| 1 | 32,138 | 29,246 | 30,69224 | 9,319166 | 0,272066 | 1,199028 | 0,387528 | 2,043616 | 1,962574 | |
| 2 | 33,384 | 30,380 | 31,88187 | 7,296015 | 0,227735 | 1,199028 | 0,303397 | 2,045295 | 1,964186 | |
| 3 | 36,125 | 32,873 | 34,49903 | 6,424734 | 0,206696 | 1,199028 | 0,267166 | 2,049609 | 1,968329 | |
| 4 | 37,370 | 34,007 | 35,68866 | 5,546291 | 0,184134 | 1,199028 | 0,230637 | 2,051991 | 1,970616 | |
| 5 | 40,111 | 36,501 | 38,30582 | 5,144526 | 0,173328 | 1,199028 | 0,21393 | 2,055581 | 1,974064 | |
| 6 | 43,599 | 39,675 | 41,63677 | 4,942238 | 0,167764 | 1,199028 | 0,205518 | 2,060187 | 1,978487 | |
| 7 | 47,585 | 43,302 | 45,44356 | 4,843756 | 0,165005 | 1,199194 | 0,201395 | 2,065556 | 1,983643 | |
| 8 | 51,820 | 47,156 | 49,48827 | 4,817823 | 0,164237 | 1,199538 | 0,200259 | 2,074535 | 1,992266 | |
| 9 | 59,294 | 53,958 | 56,626 | 5,122062 | 0,172574 | 1,200096 | 0,212806 | 2,085796 | 2,003081 | |

| Nr. crt | Mărimi calculate pentru generalizarea rezultatelor | | | | | | | | | | |
|---------|--|------------|----------------|----------------------------------|--------------|-----------|------------|----------------------------------|----------|----------|----------|
| | w_1 m/s | d_1 m | $Re_{incintă}$ | α_1 W/m ² K | w_2 m/s | Re_{z1} | Re_{z2m} | α_2 W/m ² K | cf | Nu | |
| 1 | 0,087763 | 0,193 | 227,518 | 36,08299 | 2,003095 | 3052,152 | 4324,46 | 1779,843 | 12,39341 | 1,189663 | 10,90969 |
| 2 | 0,090308 | 0,193 | 222,7616 | 37,81375 | 2,004741 | 3041,969 | 4310,032 | 1773,905 | 8,955664 | 1,18555 | 7,513141 |
| 3 | 0,09278 | 0,193 | 218,1004 | 38,38332 | 2,008969 | 3040,878 | 4308,487 | 1773,269 | 7,655486 | 1,183055 | 6,274989 |
| 4 | 0,095326 | 0,193 | 214,7071 | 39,1288 | 2,011303 | 3031,666 | 4295,435 | 1767,897 | 6,420381 | 1,172303 | 5,13302 |
| 5 | 0,097797 | 0,193 | 210,9879 | 39,62423 | 2,014823 | 3024,309 | 4285,012 | 1763,607 | 5,877464 | 1,179617 | 4,591769 |
| 6 | 0,100234 | 0,193 | 206,412 | 39,77319 | 2,019337 | 3023,881 | 4284,405 | 1763,358 | 5,612041 | 1,183208 | 4,297122 |
| 7 | 0,102645 | 0,193 | 202,2317 | 39,85956 | 2,024599 | 3020,991 | 4280,311 | 1761,672 | 5,483826 | 1,170815 | 4,121937 |
| 8 | 0,105046 | 0,193 | 198,5 | 40,03875 | 2,0334 | 3018,22 | 4276,383 | 1760,056 | 5,447409 | 1,162656 | 4,011347 |
| 9 | 0,107292 | 0,193 | 194,8642 | 39,18578 | 2,044439 | 3020,196 | 4279,184 | 1761,209 | 5,857447 | 1,159454 | 4,332431 |

Tub Field Φ 35 lis, t_1 variabil, rugos în exterior

| Nr. crt | Mărimi măsurate | | | | | | Proprietățile fluidului 1 | | | | | | Proprietățile fluidului 2 | | | | | |
|---------|---------------------------|-------------|---------------|----------------------------------|---------------|-------------|---------------------------|----------------------------------|---------------|---------------------------|---------------|----------------------------------|---------------------------|-------------|---------------|----------------------------------|--|--|
| | Proprietățile fluidului 1 | | | Proprietățile fluidului 2 | | | Proprietățile fluidului 1 | | | Proprietățile fluidului 2 | | | Proprietățile fluidului 1 | | | Proprietățile fluidului 2 | | |
| | m_1 kg/s | t_1 °C | t_1'' °C | ΔP_1 N/m ² | m_2 kg/s | t_2 °C | t_2'' °C | ΔP_2 N/m ² | m_1 kg/s | t_1 °C | t_1'' °C | ΔP_1 N/m ² | m_2 kg/s | t_2 °C | t_2'' °C | ΔP_2 N/m ² | | |
| 1 | 0,002632 | 70 | 55,76264 | 160,8291 | 0,00217 | 26,5 | 42,3 | 403,053 | 0,00217 | 27,2 | 42,8 | 405,015 | 0,00217 | 27,7 | 43,3 | 403,053 | | |
| 2 | 0,002632 | 80 | 65,94286 | 156,9064 | 0,00217 | 27,2 | 42,8 | 405,015 | 0,00217 | 27,7 | 43,3 | 403,053 | 0,00217 | 27,2 | 42,8 | 405,015 | | |
| 3 | 0,002632 | 90 | 75,94286 | 159,8484 | 0,00217 | 27,7 | 43,3 | 403,053 | 0,00217 | 27,2 | 42,8 | 405,015 | 0,00217 | 27,7 | 43,3 | 403,053 | | |
| 4 | 0,002632 | 100 | 83,96044 | 159,8484 | 0,00217 | 27,2 | 42,8 | 403,053 | 0,00217 | 27,7 | 43,3 | 403,053 | 0,00217 | 27,2 | 42,8 | 403,053 | | |
| 5 | 0,002632 | 110 | 93,14945 | 164,7517 | 0,00217 | 27,5 | 46,2 | 405,015 | 0,00217 | 27,7 | 46,9 | 405,995 | 0,00217 | 27,2 | 42,8 | 403,053 | | |
| 6 | 0,002632 | 120 | 102,6989 | 160,8291 | 0,00217 | 27,7 | 46,9 | 405,995 | 0,00217 | 27,2 | 42,8 | 403,053 | 0,00217 | 27,7 | 46,9 | 405,995 | | |
| 7 | 0,002632 | 130 | 111,8879 | 156,9064 | 0,00217 | 28,6 | 48,7 | 403,053 | 0,00217 | 29,3 | 53,6 | 400,111 | 0,00217 | 29,3 | 53,6 | 400,111 | | |
| 8 | 0,002632 | 140 | 118,1033 | 161,8097 | 0,00217 | 29,3 | 53,6 | 400,111 | 0,00217 | 29,3 | 53,6 | 400,111 | 0,00217 | 29,3 | 53,6 | 400,111 | | |
| 9 | 0,002632 | 150 | 127,4725 | 158,8677 | 0,00217 | 29,3 | 54,3 | 403,053 | 0,00217 | 29,3 | 54,3 | 403,053 | 0,00217 | 29,3 | 54,3 | 403,053 | | |

| Nr. crt | Mărimi calculate | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------|---------------------------|------------|------------|-----------------------------|---------------------------|----------|-----------|-------------------|---------------------------|--------------------|--|--|---------------------------|--|--|--|
| | Proprietățile fluidului 1 | | | | Proprietățile fluidului 2 | | | | Proprietățile fluidului 1 | | | | Proprietățile fluidului 2 | | | |
| | Q_1 W | Q_2 W | Q_m W | k_2 W/m ² K | Φ | μ | λ | w_{zint} m/s | w_{zint} m/s | w_{zinel} m/s | | | | | | |
| 1 | 37,851 | 34,445 | 36,14818 | 11,23061 | 0,312567 | 1,219512 | 0,477509 | 1,961008 | 1,961008 | 1,883242 | | | | | | |
| 2 | 37,372 | 34,009 | 35,69061 | 8,316195 | 0,254253 | 1,219512 | 0,353593 | 1,964798 | 1,964798 | 1,886881 | | | | | | |
| 3 | 37,372 | 34,009 | 35,69061 | 6,651625 | 0,215483 | 1,219512 | 0,282818 | 1,968025 | 1,968025 | 1,889981 | | | | | | |
| 4 | 42,643 | 38,805 | 40,7239 | 6,447555 | 0,210409 | 1,219512 | 0,274141 | 1,971853 | 1,971853 | 1,893656 | | | | | | |
| 5 | 44,799 | 40,767 | 42,78298 | 5,847876 | 0,195058 | 1,219512 | 0,248643 | 1,976599 | 1,976599 | 1,898215 | | | | | | |
| 6 | 45,997 | 41,857 | 43,92691 | 5,24808 | 0,179009 | 1,219512 | 0,223141 | 1,979451 | 1,979451 | 1,900953 | | | | | | |
| 7 | 48,153 | 43,819 | 45,98598 | 4,943636 | 0,170582 | 1,219512 | 0,210196 | 1,98812 | 1,98812 | 1,909279 | | | | | | |
| 8 | 58,215 | 52,975 | 55,59499 | 5,614596 | 0,188901 | 1,219512 | 0,238725 | 2,006041 | 2,006041 | 1,926488 | | | | | | |
| 9 | 59,892 | 54,501 | 57,19649 | 5,220048 | 0,178241 | 1,219512 | 0,221949 | 2,008215 | 2,008215 | 1,928577 | | | | | | |

| Nr. crt | Mărimi calculate pentru generalizarea rezultatelor | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------|--|------------|----------------|----------------------------------|---------------------------|-----------|------------|-----------|----------------------------------|----------|----------|--|---------------------------|--|--|--|
| | Proprietățile fluidului 1 | | | | Proprietățile fluidului 2 | | | | Proprietățile fluidului 1 | | | | Proprietățile fluidului 2 | | | |
| | w_1 m/s | d_1 m | $Re_{incintă}$ | α_1 W/m ² K | w_2 m/s | Re_{zi} | Re_{zin} | Re_{zm} | α_2 W/m ² K | cf | Nu | | | | | |
| 1 | 0,085523 | 0,193 | 221,7115 | 35,31299 | 1,922125 | 2928,776 | 4149,655 | 1707,898 | 16,16956 | 1,398157 | 14,23377 | | | | | |
| 2 | 0,088096 | 0,193 | 217,3053 | 37,05066 | 1,925839 | 2922,245 | 4140,401 | 1704,089 | 10,6017 | 1,402251 | 8,894044 | | | | | |
| 3 | 0,090639 | 0,193 | 213,0683 | 37,70975 | 1,929003 | 2919,838 | 4136,99 | 1702,685 | 8,008377 | 1,393172 | 6,564243 | | | | | |
| 4 | 0,092933 | 0,193 | 209,3182 | 38,32104 | 1,932755 | 2913,269 | 4127,683 | 1698,855 | 7,690314 | 1,390467 | 6,148316 | | | | | |
| 5 | 0,095372 | 0,193 | 205,7549 | 38,81765 | 1,937407 | 2908,106 | 4120,368 | 1695,844 | 6,837191 | 1,393878 | 5,341556 | | | | | |
| 6 | 0,097864 | 0,193 | 201,5322 | 39,03765 | 1,940202 | 2905,38 | 4116,505 | 1694,254 | 6,026205 | 1,395241 | 4,614246 | | | | | |
| 7 | 0,100311 | 0,193 | 197,6336 | 39,13853 | 1,9487 | 2907,738 | 4119,847 | 1695,629 | 5,626206 | 1,37909 | 4,228958 | | | | | |
| 8 | 0,10237 | 0,193 | 193,4438 | 39,1314 | 1,966264 | 2918,568 | 4135,192 | 1701,945 | 6,512021 | 1,356794 | 4,795303 | | | | | |
| 9 | 0,104839 | 0,193 | 190,4093 | 38,4722 | 1,968396 | 2907,86 | 4120,02 | 1695,701 | 6,002268 | 1,365291 | 4,439547 | | | | | |

Tub Field Φ 35 IIS, t_1 variabil, rugos în interior și exterior

| Nr. crt | Mărimi măsurate | | | | | | | | | |
|---------|---------------------------|-------------|---------------|----------------------------------|---------------|---------------------------|---------------|----------------------------------|--|--|
| | Proprietățile fluidului 1 | | | | | Proprietățile fluidului 2 | | | | |
| | m_1 kg/s | t_1 °C | t_1'' °C | Δp_1 N/m ² | m_2 kg/s | t_2 °C | t_2'' °C | Δp_2 N/m ² | | |
| 1 | 0,002685 | 70 | 55,97369 | 155,9257 | 0,00209 | 29,3 | 45,8 | 433,454 | | |
| 2 | 0,002685 | 80 | 66,19993 | 157,8871 | 0,00206 | 29,5 | 46 | 429,531 | | |
| 3 | 0,002685 | 90 | 75,2431 | 155,9257 | 0,00207 | 29,2 | 46,7 | 428,551 | | |
| 4 | 0,002685 | 100 | 84,89353 | 155,9257 | 0,00210 | 29,3 | 47 | 432,473 | | |
| 5 | 0,002685 | 110 | 94,14822 | 158,8677 | 0,00211 | 29,5 | 48 | 429,531 | | |
| 6 | 0,002685 | 120 | 102,0918 | 156,9064 | 0,00211 | 29,6 | 50,5 | 427,570 | | |
| 7 | 0,002685 | 130 | 110,7842 | 160,8291 | 0,00208 | 29,4 | 52,1 | 430,512 | | |
| 8 | 0,002685 | 140 | 119,693 | 160,8291 | 0,00209 | 29,5 | 53,4 | 428,551 | | |
| 9 | 0,002685 | 150 | 128,7659 | 160,8291 | 0,00210 | 29,6 | 54,5 | 425,609 | | |

| Nr. crt | Mărimi calculate | | | | | | | | | |
|---------|------------------|------------|------------|-----------------------------|----------|----------|-----------|-------------------|--------------------|----------|
| | Q_1 W | Q_2 W | Q_m W | k_2 W/m ² K | Φ | μ | λ | w_{zint} m/s | w_{zinel} m/s | |
| | 1 | 38,036 | 34,613 | 36,32465 | 12,64296 | 0,329119 | 1,292704 | 0,527019 | 1,905748 | 1,830172 |
| 2 | 37,423 | 34,055 | 35,73873 | 8,948067 | 0,260972 | 1,313897 | 0,372998 | 1,876288 | 1,801881 | |
| 3 | 40,017 | 36,416 | 38,21669 | 7,570533 | 0,23179 | 1,303171 | 0,315576 | 1,892966 | 1,817898 | |
| 4 | 40,965 | 37,279 | 39,122 | 6,375255 | 0,204055 | 1,287564 | 0,265751 | 1,917071 | 1,841046 | |
| 5 | 42,987 | 39,118 | 41,05217 | 5,735855 | 0,188055 | 1,282485 | 0,239098 | 1,92843 | 1,851956 | |
| 6 | 48,563 | 44,193 | 46,37785 | 5,779757 | 0,189185 | 1,282485 | 0,240928 | 1,936509 | 1,859714 | |
| 7 | 52,119 | 47,428 | 49,77362 | 5,529597 | 0,182416 | 1,298156 | 0,230456 | 1,917723 | 1,841673 | |
| 8 | 55,095 | 50,136 | 52,61571 | 5,266331 | 0,175504 | 1,293331 | 0,219419 | 1,929774 | 1,853246 | |
| 9 | 57,629 | 52,443 | 55,03603 | 5,002723 | 0,168427 | 1,288618 | 0,208367 | 1,94123 | 1,864248 | |

| Nr. crt | Mărimi calculate pentru generalizarea rezultatelor | | | | | | | | | |
|---------|--|------------|----------------|----------------------------------|--------------|-----------|-----------|----------------------------------|----------|----------|
| | w_1 m/s | d_1 m | $Re_{incintă}$ | α_1 W/m ² K | w_2 m/s | Re_{zi} | Re_{zm} | α_2 W/m ² K | cf | Nu |
| | 1 | 0,087265 | 0,193 | 226,2281 | 35,45419 | 1,86796 | 2846,244 | 4032,718 | 1659,769 | 1,607912 |
| 2 | 0,08989 | 0,193 | 221,732 | 37,35332 | 1,839084 | 2790,604 | 3953,884 | 1627,323 | 1,644911 | 9,750068 |
| 3 | 0,092365 | 0,193 | 217,1249 | 38,02605 | 1,855432 | 2808,477 | 3979,208 | 1637,746 | 1,613416 | 7,672469 |
| 4 | 0,094917 | 0,193 | 213,7862 | 38,82439 | 1,879058 | 2832,331 | 4013,006 | 1651,657 | 1,588458 | 6,051347 |
| 5 | 0,097414 | 0,193 | 210,1624 | 39,35654 | 1,890193 | 2837,236 | 4019,955 | 1654,517 | 1,562172 | 5,210515 |
| 6 | 0,099747 | 0,193 | 205,4089 | 39,44372 | 1,898112 | 2842,351 | 4027,202 | 1657,499 | 1,548551 | 5,150421 |
| 7 | 0,10217 | 0,193 | 201,2965 | 39,56437 | 1,879698 | 2804,779 | 3973,968 | 1635,589 | 1,593412 | 4,8008 |
| 8 | 0,104625 | 0,193 | 197,705 | 39,81289 | 1,89151 | 2807,608 | 3977,977 | 1637,239 | 1,569931 | 4,442418 |
| 9 | 0,107102 | 0,193 | 194,5192 | 39,11152 | 1,902739 | 2810,867 | 3982,595 | 1639,14 | 1,543788 | 4,218501 |

Tub Field Φ 30 lis, t_1^I variabil, $h = 6$ mm

| Nr. crt | Mărimi măsurate | | | | | | | | | |
|---------|---------------------------|---------------|------------------|----------------------------------|---------------|---------------------------|------------------|----------------------------------|--|--|
| | Proprietățile fluidului I | | | | | Proprietățile fluidului 2 | | | | |
| | m_1 kg/s | t_1^I °C | t_1^{II} °C | Δp_1 N/m ² | m_2 kg/s | t_2^I °C | t_2^{II} °C | Δp_2 N/m ² | | |
| 1 | 0,002698 | 70 | 59,04225 | 154,9451 | 0,00212 | 26,8 | 39,6 | 453,067 | | |
| 2 | 0,002698 | 80 | 67,50132 | 158,8677 | 0,00212 | 27,2 | 41,8 | 456,009 | | |
| 3 | 0,002698 | 90 | 76,81646 | 157,8871 | 0,00212 | 27 | 42,4 | 447,183 | | |
| 4 | 0,002698 | 100 | 84,76188 | 158,8677 | 0,00212 | 26,5 | 44,3 | 450,125 | | |
| 5 | 0,002698 | 110 | 93,8202 | 159,8484 | 0,00212 | 26,6 | 45,5 | 450,125 | | |
| 6 | 0,002698 | 120 | 102,6217 | 157,8871 | 0,00212 | 26,6 | 46,9 | 451,106 | | |
| 7 | 0,002698 | 130 | 111,5126 | 160,8291 | 0,00212 | 27,3 | 48,9 | 444,241 | | |
| 8 | 0,002698 | 140 | 120,4065 | 159,8484 | 0,00212 | 27,6 | 50,5 | 441,299 | | |
| 9 | 0,002698 | 150 | 127,8477 | 160,8291 | 0,00212 | 27,9 | 53,8 | 440,319 | | |

| Nr. crt | Mărimi calculate | | | | | | | | | |
|---------|------------------|------------|------------|-----------------------------|----------|----------|-----------|-------------------|--------------------|---------|
| | Q_1 W | Q_2 W | Q_m W | k_2 W/m ² K | Φ | μ | λ | w_{zint} m/s | w_{zinel} m/s | |
| | 1 | 29,859 | 27,172 | 28,51527 | 8,555315 | 0,242237 | 1,283651 | 0,334205 | 2,587005 | 1,45519 |
| 2 | 34,058 | 30,993 | 32,52523 | 7,786599 | 0,226065 | 1,283651 | 0,304176 | 2,597913 | 1,461326 | |
| 3 | 35,924 | 32,691 | 34,30743 | 6,618072 | 0,199846 | 1,283651 | 0,258528 | 2,599828 | 1,462403 | |
| 4 | 41,523 | 37,786 | 39,65404 | 6,538855 | 0,197992 | 1,283651 | 0,255434 | 2,605667 | 1,465688 | |
| 5 | 44,089 | 40,121 | 42,10458 | 6,006747 | 0,185272 | 1,283651 | 0,234648 | 2,611159 | 1,468777 | |
| 6 | 47,354 | 43,092 | 45,22343 | 5,698741 | 0,17769 | 1,283651 | 0,222616 | 2,617048 | 1,47209 | |
| 7 | 50,387 | 45,852 | 48,11952 | 5,469748 | 0,171913 | 1,283915 | 0,213626 | 2,628632 | 1,478605 | |
| 8 | 53,419 | 48,612 | 51,0156 | 5,258346 | 0,166475 | 1,284344 | 0,205301 | 2,636735 | 1,483163 | |
| 9 | 60,418 | 54,980 | 57,69886 | 5,527611 | 0,173263 | 1,284814 | 0,215735 | 2,65197 | 1,491733 | |

| Nr. crt | Mărimi calculate pentru generalizarea rezultatelor | | | | | | | | | |
|---------|--|------------|----------------|----------------------------------|--------------|-----------|------------|----------------------------------|----------|----------|
| | w_1 m/s | d_1 m | $Re_{incinta}$ | α_1 W/m ² K | w_2 m/s | Re_{z1} | Re_{z2m} | α_2 W/m ² K | cf | Nu |
| | 1 | 0,088089 | 0,193 | 228,3639 | 36,44254 | 2,021097 | 3225,935 | 4692,27 | 1759,601 | 1,415248 |
| 2 | 0,090494 | 0,193 | 223,2225 | 37,93191 | 2,029619 | 3226,079 | 4692,479 | 1759,68 | 1,418457 | 8,136626 |
| 3 | 0,093016 | 0,193 | 218,6547 | 38,55315 | 2,031116 | 3220,508 | 4684,375 | 1756,641 | 1,389978 | 6,495623 |
| 4 | 0,095357 | 0,193 | 214,7766 | 39,15015 | 2,035678 | 3214,228 | 4675,24 | 1753,215 | 1,395988 | 6,22661 |
| 5 | 0,097842 | 0,193 | 211,0857 | 39,64498 | 2,039968 | 3207,573 | 4665,561 | 1749,585 | 1,393052 | 5,492006 |
| 6 | 0,100298 | 0,193 | 206,544 | 39,80106 | 2,044569 | 3207,167 | 4664,97 | 1749,364 | 1,392945 | 5,059279 |
| 7 | 0,10276 | 0,193 | 202,4586 | 39,88203 | 2,053618 | 3209,919 | 4668,972 | 1750,865 | 1,365703 | 4,735111 |
| 8 | 0,105226 | 0,193 | 198,8403 | 40,10595 | 2,059949 | 3202,936 | 4658,816 | 1747,056 | 1,352489 | 4,430004 |
| 9 | 0,107501 | 0,193 | 195,2436 | 39,25629 | 2,071851 | 3206,148 | 4663,487 | 1748,808 | 1,341731 | 4,727889 |

Tub Field Φ 40 lis, t_1 variabil, $h = 6$ mm

| Nr. crt | Mărimi măsurate | | | | | | Proprietățile fluidului 1 | | | | | | Proprietățile fluidului 2 | | | | | |
|---------|---------------------------|-------------|---------------|----------------------------------|---------------|-------------|---------------------------|----------------------------------|---------------|---------------------------|---------------|----------------------------------|---------------------------|-------------|---------------|----------------------------------|--|--|
| | Proprietățile fluidului 1 | | | Proprietățile fluidului 2 | | | Proprietățile fluidului 1 | | | Proprietățile fluidului 2 | | | Proprietățile fluidului 1 | | | Proprietățile fluidului 2 | | |
| | m_1 kg/s | t_1 °C | t_1'' °C | Δp_1 N/m ² | m_2 kg/s | t_2 °C | t_2'' °C | Δp_2 N/m ² | m_1 kg/s | t_1 °C | t_1'' °C | Δp_1 N/m ² | m_2 kg/s | t_2 °C | t_2'' °C | Δp_2 N/m ² | | |
| 1 | 0,002572 | 70 | 54,0257 | 151,0224 | 0,00246 | 28,7 | 44 | 366,769 | 0,002572 | 70 | 54,0257 | 151,0224 | 0,00246 | 28,7 | 44 | 366,769 | | |
| 2 | 0,002572 | 80 | 63,60808 | 150,0417 | 0,00246 | 28,5 | 44,2 | 369,711 | 0,002572 | 80 | 63,60808 | 150,0417 | 0,00246 | 28,5 | 44,2 | 369,711 | | |
| 3 | 0,002572 | 90 | 72,25078 | 152,0031 | 0,00246 | 28,1 | 45,1 | 365,788 | 0,002572 | 90 | 72,25078 | 152,0031 | 0,00246 | 28,1 | 45,1 | 365,788 | | |
| 4 | 0,002572 | 100 | 81,62434 | 154,9451 | 0,00246 | 29,2 | 46,8 | 363,827 | 0,002572 | 100 | 81,62434 | 154,9451 | 0,00246 | 29,2 | 46,8 | 363,827 | | |
| 5 | 0,002572 | 110 | 90,89349 | 154,9451 | 0,00246 | 29,1 | 47,4 | 368,730 | 0,002572 | 110 | 90,89349 | 154,9451 | 0,00246 | 29,1 | 47,4 | 368,730 | | |
| 6 | 0,002572 | 120 | 98,59653 | 151,0224 | 0,00246 | 28,1 | 48,6 | 347,155 | 0,002572 | 120 | 98,59653 | 151,0224 | 0,00246 | 28,1 | 48,6 | 347,155 | | |
| 7 | 0,002572 | 130 | 107,6569 | 152,0031 | 0,00246 | 29,1 | 50,5 | 363,827 | 0,002572 | 130 | 107,6569 | 152,0031 | 0,00246 | 29,1 | 50,5 | 363,827 | | |
| 8 | 0,002572 | 140 | 116,404 | 153,9644 | 0,00246 | 29,6 | 52,2 | 363,827 | 0,002572 | 140 | 116,404 | 153,9644 | 0,00246 | 29,6 | 52,2 | 363,827 | | |
| 9 | 0,002572 | 150 | 124,0026 | 152,9837 | 0,00246 | 29,8 | 54,7 | 363,827 | 0,002572 | 150 | 124,0026 | 152,9837 | 0,00246 | 29,8 | 54,7 | 363,827 | | |

Mărimi calculate

| Nr. crt | Mărimi calculate | | | | | | | | | |
|---------|------------------|------------|------------|-----------------------------|----------|----------|-----------|-------------------|--------------------|--|
| | Q_1 W | Q_2 W | Q_m W | k_2 W/m ² K | Φ | M | λ | w_{zint} m/s | w_{zinel} m/s | |
| 1 | 41,493 | 37,759 | 39,6257 | 12,90751 | 0,369381 | 1,052515 | 0,594491 | 1,710611 | 3,041087 | |
| 2 | 42,578 | 38,746 | 40,66167 | 9,58691 | 0,303967 | 1,052515 | 0,441552 | 1,710562 | 3,040999 | |
| 3 | 46,103 | 41,954 | 44,02856 | 8,265752 | 0,273837 | 1,052515 | 0,380702 | 1,71201 | 3,043574 | |
| 4 | 47,730 | 43,435 | 45,58251 | 7,214685 | 0,247864 | 1,052515 | 0,332292 | 1,719785 | 3,057396 | |
| 5 | 49,629 | 45,162 | 47,39545 | 6,369722 | 0,225547 | 1,052515 | 0,293375 | 1,721084 | 3,059706 | |
| 6 | 55,595 | 50,591 | 53,09326 | 6,255311 | 0,222419 | 1,052515 | 0,288106 | 1,722003 | 3,061338 | |
| 7 | 58,036 | 52,813 | 55,42419 | 5,862279 | 0,211474 | 1,052515 | 0,270003 | 1,729739 | 3,075091 | |
| 8 | 61,290 | 55,774 | 58,53209 | 5,604281 | 0,204114 | 1,052515 | 0,258121 | 1,735822 | 3,085905 | |
| 9 | 67,528 | 61,450 | 64,48889 | 5,689183 | 0,206552 | 1,052515 | 0,262031 | 1,743287 | 3,099177 | |

Mărimi calculate pentru generalizarea rezultatelor

| Nr. crt | Mărimi calculate pentru generalizarea rezultatelor | | | | | | | | | | |
|---------|--|------------|----------------|----------------------------------|--------------|-----------|------------|-----------|----------------------------------|----------|----------|
| | w_1 m/s | d_1 m | $Re_{incintă}$ | α_1 W/m ² K | w_2 m/s | Re_{zi} | Re_{zin} | Re_{zm} | α_2 W/m ² K | cf | Nu |
| 1 | 0,083349 | 0,193 | 216,0748 | 34,27848 | 2,375849 | 2987,766 | 4136,907 | 1838,626 | 20,21998 | 0,838325 | 17,79928 |
| 2 | 0,085785 | 0,193 | 211,607 | 36,07389 | 2,37578 | 2975,268 | 4119,602 | 1830,934 | 12,87258 | 0,845074 | 10,79914 |
| 3 | 0,088103 | 0,193 | 207,106 | 36,68843 | 2,377792 | 2970,455 | 4112,937 | 1827,972 | 10,54824 | 0,835401 | 8,646102 |
| 4 | 0,09051 | 0,193 | 203,8611 | 37,35982 | 2,38859 | 2971,452 | 4114,318 | 1828,586 | 8,857569 | 0,827165 | 7,081523 |
| 5 | 0,092907 | 0,193 | 200,4383 | 37,91309 | 2,390395 | 2961,299 | 4100,261 | 1822,338 | 7,595536 | 0,83768 | 5,933875 |
| 6 | 0,095113 | 0,193 | 195,8668 | 38,05805 | 2,391671 | 2955,838 | 4092,699 | 1818,977 | 7,42792 | 0,788246 | 5,687534 |
| 7 | 0,097483 | 0,193 | 192,0621 | 38,1629 | 2,402415 | 2958,569 | 4096,48 | 1820,658 | 6,876895 | 0,822405 | 5,169043 |
| 8 | 0,099813 | 0,193 | 188,6114 | 38,38119 | 2,410863 | 2953,41 | 4089,338 | 1817,483 | 6,518462 | 0,819523 | 4,800046 |
| 9 | 0,102003 | 0,193 | 185,2584 | 37,60871 | 2,421232 | 2952,029 | 4087,425 | 1816,633 | 6,656291 | 0,816013 | 4,923292 |

Tub Field Φ 19 Iis, t_1 variabil, $h = 6$ mm

| Nr. crt | Mărimi măsurate | | | | | | Proprietățile fluidului 1 | | | | | | Proprietățile fluidului 2 | | | | | |
|---------|-----------------|-------------|---------------|----------------------------------|---------------|-------------|---------------------------|----------------------------------|--|---------------------------|--|--|---------------------------|--|--|---------------------------|--|--|
| | Mărimi măsurate | | | Proprietățile fluidului 1 | | | Mărimi măsurate | | | Proprietățile fluidului 2 | | | Mărimi măsurate | | | Proprietățile fluidului 2 | | |
| | m_1 kg/s | t_1 °C | t_1'' °C | Δp_1 N/m ² | m_2 kg/s | t_2 °C | t_2'' °C | Δp_2 N/m ² | | | | | | | | | | |
| 1 | 0,00265 | 70 | 52,53511 | 152,0031 | 0,00217 | 24,3 | 43,8 | 416,783 | | | | | | | | | | |
| 2 | 0,002653 | 80 | 62,17686 | 149,0611 | 0,00218 | 23,9 | 43,8 | 411,879 | | | | | | | | | | |
| 3 | 0,002651 | 90 | 71,99773 | 146,1191 | 0,00218 | 24,1 | 44,2 | 409,918 | | | | | | | | | | |
| 4 | 0,002651 | 100 | 81,54992 | 145,1384 | 0,00218 | 24,1 | 44,7 | 414,821 | | | | | | | | | | |
| 5 | 0,002653 | 110 | 90,02734 | 148,0804 | 0,00218 | 23,9 | 46,2 | 414,821 | | | | | | | | | | |
| 6 | 0,002653 | 120 | 99,04214 | 145,1384 | 0,00218 | 23,9 | 47,3 | 414,821 | | | | | | | | | | |
| 7 | 0,002654 | 130 | 108,5092 | 147,0998 | 0,00218 | 23,8 | 47,8 | 412,860 | | | | | | | | | | |
| 8 | 0,002654 | 140 | 117,8897 | 148,0804 | 0,00218 | 23,8 | 48,5 | 412,860 | | | | | | | | | | |
| 9 | 0,002653 | 150 | 126,824 | 147,0998 | 0,00218 | 23,9 | 49,8 | 412,860 | | | | | | | | | | |

| Nr. crt | Mărimi calculate | | | | | | | | | | | |
|---------|---------------------------|------------|------------|-----------------------------|---------------------------|----------|----------|-------------------|--------------------|--|--|--|
| | Proprietățile fluidului 1 | | | | Proprietățile fluidului 2 | | | | Mărimi calculate | | | |
| | Q_1 W | Q_2 W | Q_m W | k_2 W/m ² K | Φ | M | χ | w_{zint} m/s | w_{zinel} m/s | | | |
| 1 | 46,739 | 42,533 | 44,63609 | 17,84591 | 0,364966 | 1,226952 | 0,613088 | 1,959513 | 1,881806 | | | |
| 2 | 47,762 | 43,464 | 45,61307 | 13,32631 | 0,303406 | 1,226952 | 0,457203 | 1,960969 | 1,883204 | | | |
| 3 | 48,210 | 43,871 | 46,0405 | 10,69086 | 0,260883 | 1,226952 | 0,367032 | 1,961604 | 1,883814 | | | |
| 4 | 49,409 | 44,962 | 47,18579 | 9,104936 | 0,232145 | 1,226952 | 0,312585 | 1,963106 | 1,885256 | | | |
| 5 | 53,523 | 48,706 | 51,11414 | 8,558867 | 0,221532 | 1,226952 | 0,29364 | 1,968581 | 1,890514 | | | |
| 6 | 56,163 | 51,108 | 53,63547 | 7,892646 | 0,20827 | 1,226952 | 0,270783 | 1,972096 | 1,89389 | | | |
| 7 | 57,622 | 52,436 | 55,02923 | 7,172578 | 0,193256 | 1,227203 | 0,245946 | 1,974076 | 1,895791 | | | |
| 8 | 59,303 | 53,966 | 56,63425 | 6,638694 | 0,181715 | 1,227614 | 0,227563 | 1,976313 | 1,89794 | | | |
| 9 | 62,163 | 56,568 | 59,36575 | 6,358138 | 0,17552 | 1,228063 | 0,217939 | 1,980122 | 1,901598 | | | |

| Nr. crt | Mărimi calculate pentru generalizarea rezultatelor | | | | | | | | | | | |
|---------|--|------------|----------------|----------------------------------|---------------------------|-----------|------------|----------------------------------|------------------|----------|--|--|
| | Proprietățile fluidului 1 | | | | Proprietățile fluidului 2 | | | | Mărimi calculate | | | |
| | w_1 m/s | d_1 m | $Re_{incintă}$ | α_1 W/m ² K | w_2 m/s | Re_{z1} | Re_{z2m} | α_2 W/m ² K | cf | Nu | | |
| 1 | 0,085683 | 0,193 | 222,1252 | 35,21988 | 1,92066 | 2888,958 | 2250,952 | 3526,964 | 1,446146 | 30,60193 | | |
| 2 | 0,088321 | 0,193 | 217,8621 | 37,07073 | 1,922087 | 2879,094 | 2243,267 | 3514,922 | 1,42615 | 17,07537 | | |
| 3 | 0,090807 | 0,193 | 213,4618 | 37,73381 | 1,922709 | 2872,934 | 2238,467 | 3507,401 | 1,419855 | 12,03911 | | |
| 4 | 0,093315 | 0,193 | 210,179 | 38,48738 | 1,924181 | 2863,097 | 2230,802 | 3495,391 | 1,435739 | 9,419602 | | |
| 5 | 0,095747 | 0,193 | 206,5646 | 38,96431 | 1,929548 | 2859,112 | 2227,697 | 3490,527 | 1,430783 | 8,474564 | | |
| 6 | 0,09819 | 0,193 | 202,2036 | 39,14832 | 1,932993 | 2857,409 | 2226,371 | 3488,448 | 1,428233 | 7,494651 | | |
| 7 | 0,10072 | 0,193 | 198,4406 | 39,33185 | 1,934933 | 2850,117 | 2220,689 | 3479,545 | 1,419577 | 6,536128 | | |
| 8 | 0,103208 | 0,193 | 195,0259 | 39,60286 | 1,937126 | 2838,391 | 2211,552 | 3465,229 | 1,41797 | 5,826735 | | |
| 9 | 0,105604 | 0,193 | 191,7982 | 38,86911 | 1,94086 | 2830,359 | 2205,294 | 3455,423 | 1,415718 | 5,579357 | | |

Tab U, t₁^I variabil

| Nr. crt | Mărimi măsurate | | | | | | Proprietățile fluidului 1 | | | | | | Proprietățile fluidului 2 | | | | | |
|---------|------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|-------------------------------------|------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|-------------------------------------|--|---------------------------|--|--|---------------------------|--|--|---------------------------|--|--|
| | Mărimi măsurate | | | Proprietățile fluidului 1 | | | Mărimi măsurate | | | Proprietățile fluidului 2 | | | Mărimi măsurate | | | Proprietățile fluidului 2 | | |
| | m ₁ kg/s | t ₁ ^I °C | t ₁ ^{II} °C | Δp ₁ N/m ² | m ₂ kg/s | t ₂ ^I °C | t ₂ ^{II} °C | Δp ₂ N/m ² | | | | | | | | | | |
| 1 | 0,002572 | 70 | 56,04903 | 147,0998 | 0,00242 | 28,9 | 42,5 | 294,200 | | | | | | | | | | |
| 2 | 0,002572 | 80 | 64,71548 | 152,0031 | 0,00242 | 28,9 | 43,8 | 291,258 | | | | | | | | | | |
| 3 | 0,002572 | 90 | 73,5871 | 152,0031 | 0,00242 | 28,8 | 44,8 | 292,238 | | | | | | | | | | |
| 4 | 0,002572 | 100 | 81,9458 | 150,0417 | 0,00242 | 28,7 | 46,3 | 291,258 | | | | | | | | | | |
| 5 | 0,002572 | 110 | 90,81742 | 146,1191 | 0,00242 | 28,9 | 47,6 | 288,316 | | | | | | | | | | |
| 6 | 0,002572 | 120 | 99,99677 | 151,0224 | 0,00242 | 28,9 | 48,4 | 289,296 | | | | | | | | | | |
| 7 | 0,002572 | 130 | 108,7658 | 148,0804 | 0,00242 | 29 | 49,7 | 291,258 | | | | | | | | | | |
| 8 | 0,002572 | 140 | 117,2271 | 150,0417 | 0,00242 | 29,1 | 51,3 | 291,258 | | | | | | | | | | |
| 9 | 0,002572 | 150 | 125,4832 | 149,0611 | 0,00242 | 29,1 | 53 | 289,296 | | | | | | | | | | |

| Nr. crt | Mărimi calculate | | | | | | | | | |
|---------|---------------------|---------------------|---------------------|--------------------------------------|---------|----------|---------|--|--|--|
| | Q ₁ W | Q ₂ W | Q _m W | k ₂ W/m ² K | Φ | μ | λ | | | |
| 1 | 36,237 | 32,976 | 34,60666 | 11,075 | 0,15312 | 1,071256 | 0,22508 | | | |
| 2 | 39,701 | 36,128 | 37,91465 | 9,207584 | 0,22355 | 1,071256 | 0,34964 | | | |
| 3 | 42,632 | 38,795 | 40,71371 | 7,912686 | 0,26928 | 1,071256 | 0,43276 | | | |
| 4 | 46,895 | 42,675 | 44,78509 | 7,323736 | 0,30588 | 1,071256 | 0,50246 | | | |
| 5 | 49,826 | 45,342 | 47,58415 | 6,694112 | 0,33333 | 1,071256 | 0,5542 | | | |
| 6 | 51,958 | 47,282 | 49,61984 | 6,081398 | 0,34525 | 1,071256 | 0,56771 | | | |
| 7 | 55,155 | 50,191 | 52,67337 | 5,755122 | 0,34351 | 1,071256 | 0,54995 | | | |
| 8 | 59,152 | 53,828 | 56,49028 | 5,587105 | 0,36444 | 1,071256 | 0,59099 | | | |
| 9 | 63,682 | 57,950 | 60,81611 | 5,499988 | 0,36995 | 1,071256 | 0,5999 | | | |

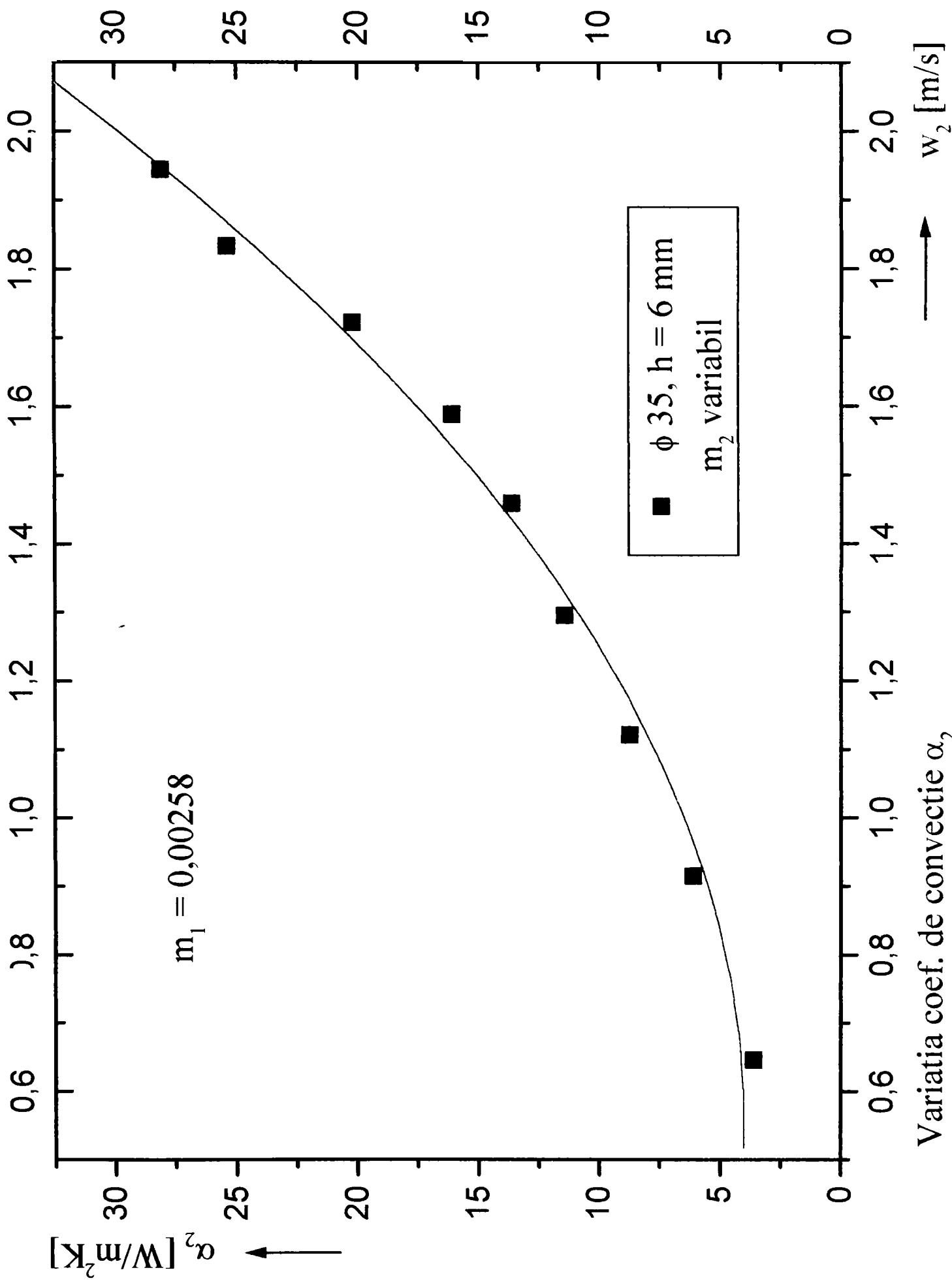
| Nr. crt | Mărimi calculate pentru generalizarea rezultatelor | | | | | | | | | |
|---------|--|---------------------|-----------------------|--------------------------------------|-----------------------|------------------|--------------------------------------|----------|----------|--|
| | w ₁ m/s | d ₁ m | Re _{incintă} | α ₁ W/m ² K | w ₂ m/s | Re _{2m} | α ₂ W/m ² K | cf | Nu | |
| 1 | 0,212736 | 0,12099 | 386,0504 | 73,88861 | 2,192647 | 4639,821 | 12,89977 | 0,897461 | 15,89761 | |
| 2 | 0,218634 | 0,12099 | 377,5133 | 77,31678 | 2,197328 | 4630,409 | 10,37353 | 0,886594 | 12,18368 | |
| 3 | 0,224608 | 0,12099 | 369,5941 | 78,61001 | 2,200503 | 4625,681 | 8,743323 | 0,888295 | 10,03332 | |
| 4 | 0,230423 | 0,12099 | 363,2961 | 79,99107 | 2,205496 | 4616,768 | 8,016477 | 0,88331 | 8,972712 | |
| 5 | 0,236406 | 0,12099 | 357,0162 | 81,04315 | 2,210887 | 4608,759 | 7,26012 | 0,872255 | 7,940756 | |
| 6 | 0,242465 | 0,12099 | 349,5177 | 81,50221 | 2,213707 | 4603,669 | 6,542141 | 0,874107 | 7,013014 | |
| 7 | 0,248414 | 0,12099 | 342,5991 | 81,764 | 2,218637 | 4597,53 | 6,164674 | 0,878078 | 6,487179 | |
| 8 | 0,254253 | 0,12099 | 336,313 | 82,21076 | 2,224674 | 4585,877 | 5,970058 | 0,875695 | 6,154699 | |
| 9 | 0,260034 | 0,12099 | 330,5916 | 80,659 | 2,230755 | 4576,578 | 5,87831 | 0,867427 | 6,087007 | |

Tub Field Φ 19 cu nervuri, t_1^I variabil

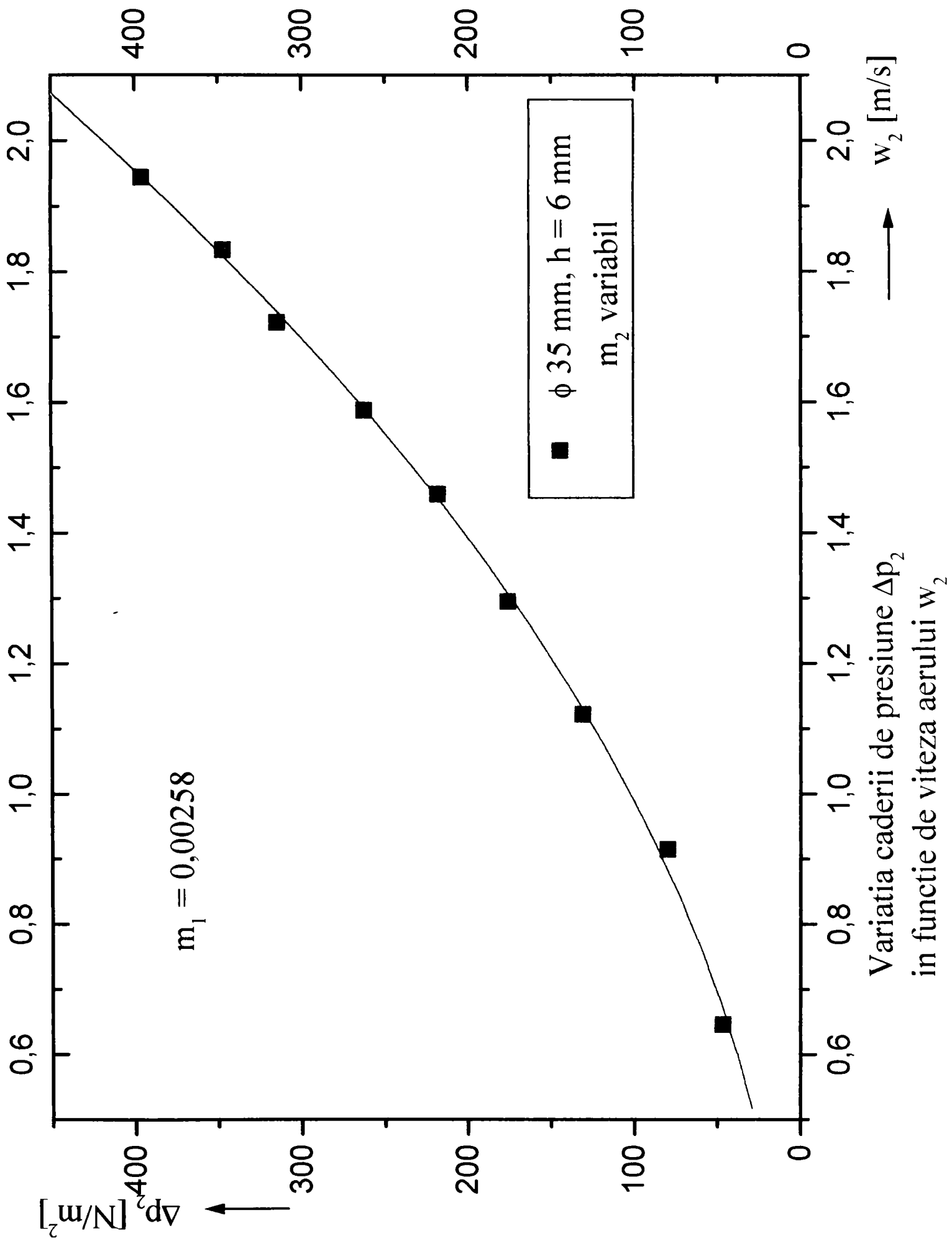
| Nr. crt | Mărimi măsurate | | | | | | Proprietățile fluidului 1 | | | | | | Proprietățile fluidului 2 | | | | | |
|---------|-----------------|---------------|------------------|----------------------------------|---------------|---------------|---------------------------|----------------------------------|---------------|---------------------------|------------------|----------------------------------|---------------------------|---------------|------------------|----------------------------------|--|--|
| | Mărimi măsurate | | | Proprietățile fluidului 1 | | | Mărimi măsurate | | | Proprietățile fluidului 2 | | | Mărimi măsurate | | | Proprietățile fluidului 2 | | |
| | m_1 kg/s | t_1^I °C | t_1^{II} °C | Δp_1 N/m ² | m_2 kg/s | t_2^I °C | t_2^{II} °C | Δp_2 N/m ² | m_1 kg/s | t_1^I °C | t_1^{II} °C | Δp_1 N/m ² | m_2 kg/s | t_2^I °C | t_2^{II} °C | Δp_2 N/m ² | | |
| 1 | 0,002578 | 70 | 64,94849 | 144,1578 | 0,00057 | 27,7 | 48,8 | 710,001 | | | | | | | | | | |
| 2 | 0,002573 | 80 | 74,6612 | 146,1191 | 0,00056 | 28,3 | 50,6 | 711,963 | | | | | | | | | | |
| 3 | 0,002576 | 90 | 84,39785 | 146,1191 | 0,00057 | 28 | 51,4 | 710,001 | | | | | | | | | | |
| 4 | 0,002572 | 100 | 94,23027 | 146,1191 | 0,00056 | 28,4 | 52,5 | 710,001 | | | | | | | | | | |
| 5 | 0,00257 | 110 | 104,0387 | 145,1384 | 0,00056 | 28,6 | 53,5 | 711,963 | | | | | | | | | | |
| 6 | 0,002572 | 120 | 113,536 | 145,1384 | 0,00056 | 28,4 | 55,4 | 706,079 | | | | | | | | | | |
| 7 | 0,002571 | 130 | 122,9868 | 146,1191 | 0,00056 | 28,5 | 57,8 | 710,001 | | | | | | | | | | |
| 8 | 0,002569 | 140 | 132,6063 | 147,0998 | 0,00056 | 28,8 | 59,7 | 709,021 | | | | | | | | | | |
| 9 | 0,002568 | 150 | 142,2024 | 148,0804 | 0,00056 | 28,9 | 61,5 | 708,040 | | | | | | | | | | |

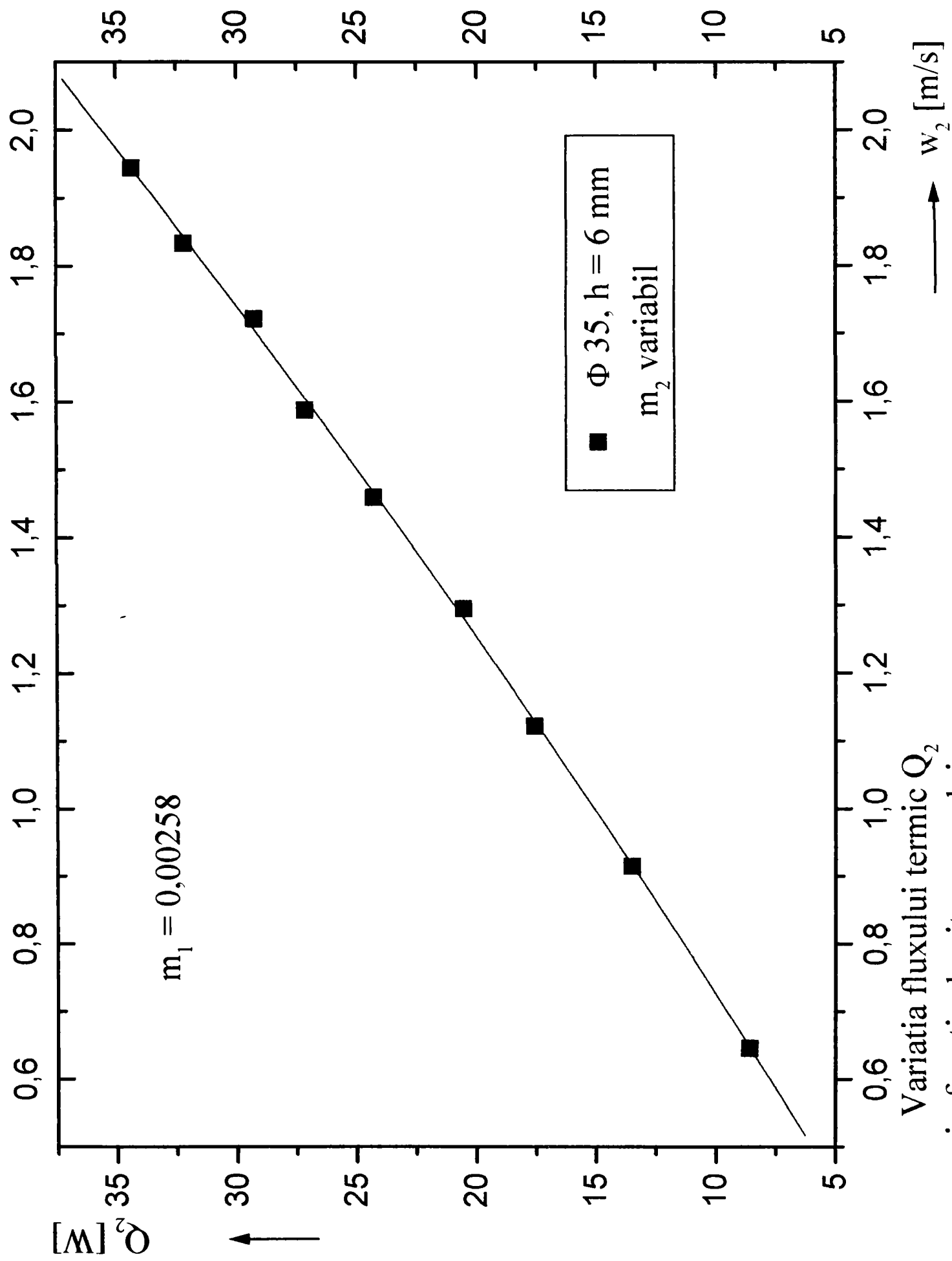
| Nr. crt | Mărimi calculate | | | | | | | | | | | | | |
|---------|------------------|------------|------------|-----------------------------|----------|----------|----------|-------------------|-------------------|--------------------|--|--|--|--|
| | Mărimi calculate | | | | | | | Mărimi calculate | | | | | | |
| | Q_1 W | Q_2 W | Q_m W | k_2 W/m ² K | Φ | μ | χ | w_{zint} m/s | w_{zint} m/s | w_{zinel} m/s | | | | |
| 1 | 13,155 | 11,971 | 12,56268 | 3,223151 | 0,114047 | 4,590077 | 0,169422 | 0,323905 | 0,323905 | 1,756642 | | | | |
| 2 | 13,874 | 12,626 | 13,25001 | 2,599389 | 0,098618 | 4,590077 | 0,136914 | 0,325245 | 0,325245 | 1,763911 | | | | |
| 3 | 14,574 | 13,262 | 13,91784 | 2,166216 | 0,086291 | 4,590077 | 0,113981 | 0,325867 | 0,325867 | 1,767282 | | | | |
| 4 | 14,989 | 13,640 | 14,31463 | 1,861867 | 0,076957 | 4,590077 | 0,098101 | 0,326289 | 0,326289 | 1,769573 | | | | |
| 5 | 15,476 | 14,083 | 14,7797 | 1,648112 | 0,069939 | 4,590077 | 0,086898 | 0,326647 | 0,326647 | 1,771511 | | | | |
| 6 | 16,793 | 15,281 | 16,03714 | 1,574816 | 0,067392 | 4,590077 | 0,082976 | 0,327745 | 0,327745 | 1,777466 | | | | |
| 7 | 18,217 | 16,578 | 17,39732 | 1,534168 | 0,065986 | 4,591018 | 0,080846 | 0,328806 | 0,328806 | 1,783222 | | | | |
| 8 | 19,192 | 17,465 | 18,32854 | 1,46258 | 0,063498 | 4,592554 | 0,077127 | 0,32965 | 0,32965 | 1,787797 | | | | |
| 9 | 20,241 | 18,419 | 19,3303 | 1,406686 | 0,061493 | 4,594236 | 0,074177 | 0,330726 | 0,330726 | 1,793632 | | | | |

| Nr. crt | Mărimi calculate pentru generalizarea rezultatelor | | | | | | | | | | | | | |
|---------|--|------------|----------------|----------------------------------|--------------|-----------|-----------|------------------|----------------------------------|----------|----------|--|--|--|
| | Mărimi calculate | | | | | | | Mărimi calculate | | | | | | |
| | w_1 m/s | d_1 m | $Re_{incintă}$ | α_1 W/m ² K | w_2 m/s | Re_{zm} | Re_{zi} | Re_{zin} | α_2 W/m ² K | cf | Nu | | | |
| 1 | 0,084929 | 0,193 | 220,1721 | 35,16927 | 1,040274 | 1293,609 | 2028,948 | 558,2697 | 3,237756 | 8,488229 | 2,850137 | | | |
| 2 | 0,087207 | 0,193 | 215,1147 | 36,71165 | 1,044578 | 1298,962 | 2037,344 | 560,5799 | 2,608482 | 8,474052 | 2,188324 | | | |
| 3 | 0,089756 | 0,193 | 210,9916 | 37,38809 | 1,046574 | 1301,444 | 2041,237 | 561,651 | 2,172413 | 8,425404 | 1,780666 | | | |
| 4 | 0,092101 | 0,193 | 207,444 | 38,0599 | 1,047931 | 1303,132 | 2043,884 | 562,3792 | 1,866362 | 8,423752 | 1,492135 | | | |
| 5 | 0,094502 | 0,193 | 203,8789 | 38,56617 | 1,049079 | 1304,559 | 2046,122 | 562,9952 | 1,651588 | 8,444522 | 1,290303 | | | |
| 6 | 0,096992 | 0,193 | 199,7373 | 38,76147 | 1,052605 | 1308,944 | 2053 | 564,8876 | 1,577972 | 8,341709 | 1,208248 | | | |
| 7 | 0,099378 | 0,193 | 195,7949 | 38,85636 | 1,056014 | 1313,183 | 2059,649 | 566,7169 | 1,537157 | 8,366748 | 1,15541 | | | |
| 8 | 0,101713 | 0,193 | 192,2007 | 39,06373 | 1,058723 | 1316,552 | 2064,932 | 568,1708 | 1,465282 | 8,341489 | 1,079 | | | |
| 9 | 0,104111 | 0,193 | 189,0861 | 38,3545 | 1,062179 | 1320,848 | 2071,672 | 570,0251 | 1,409231 | 8,300706 | 1,04233 | | | |

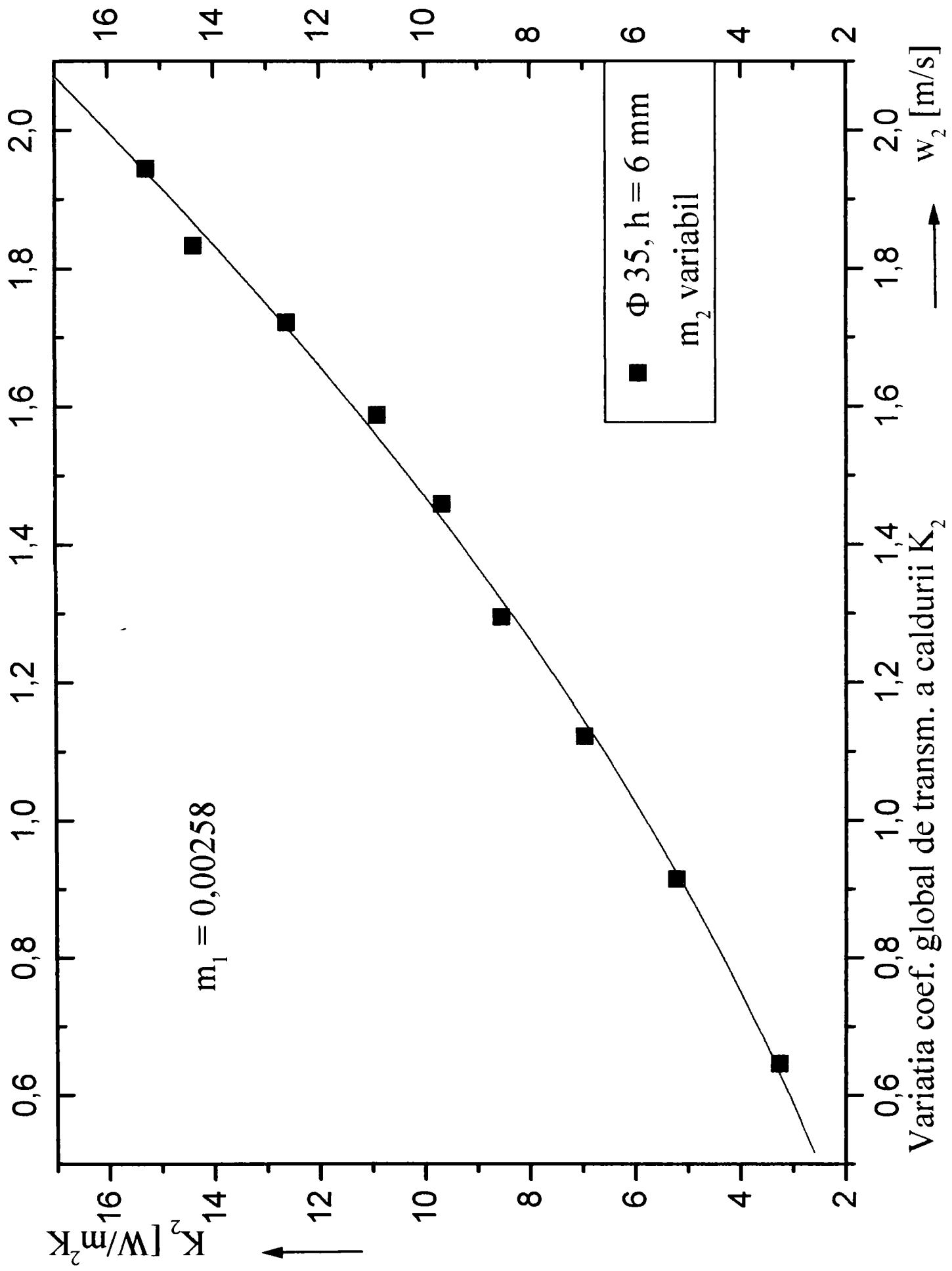


Variatia coef. de convecție α_2
 în funcție de viteza aerului w_2

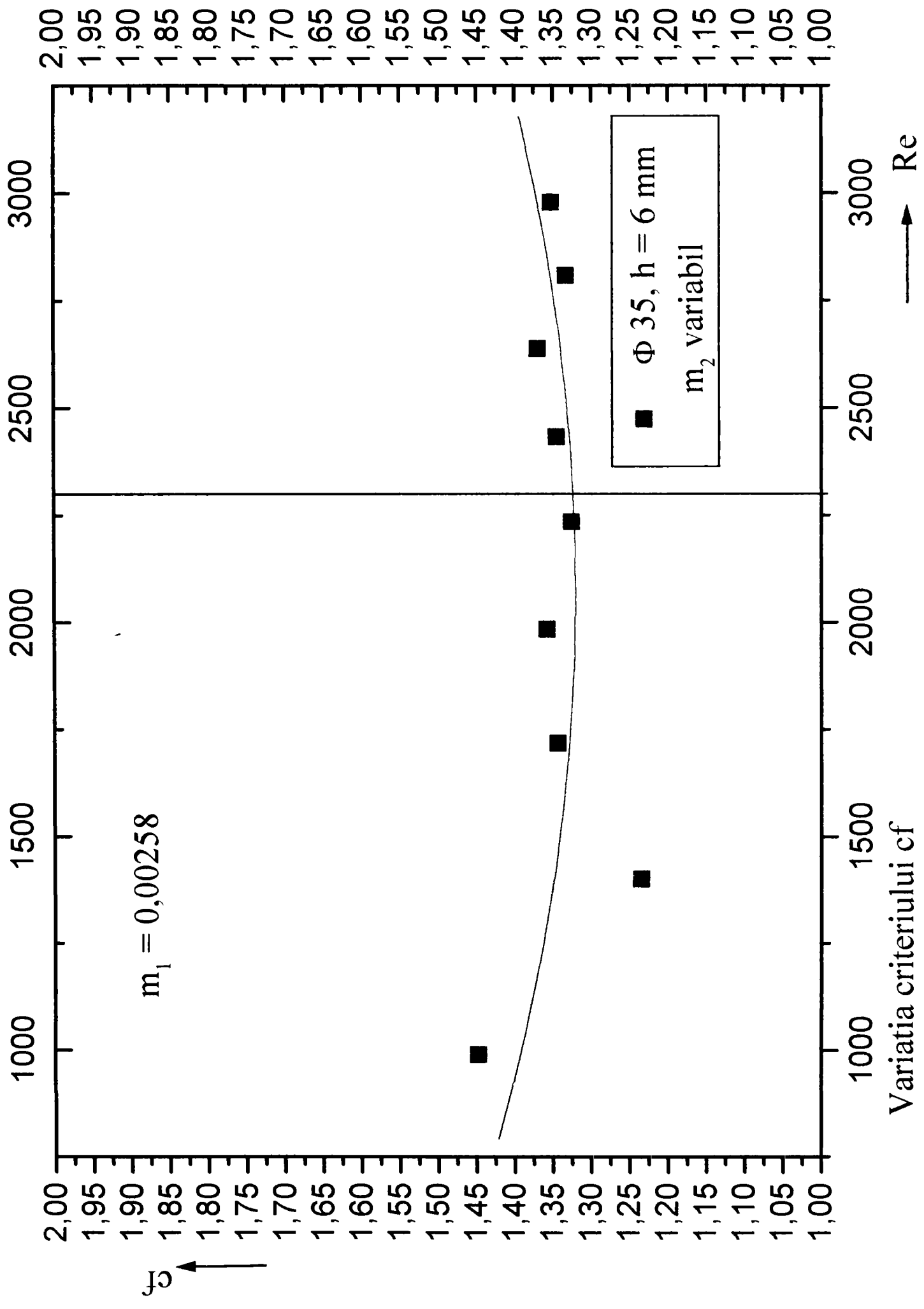




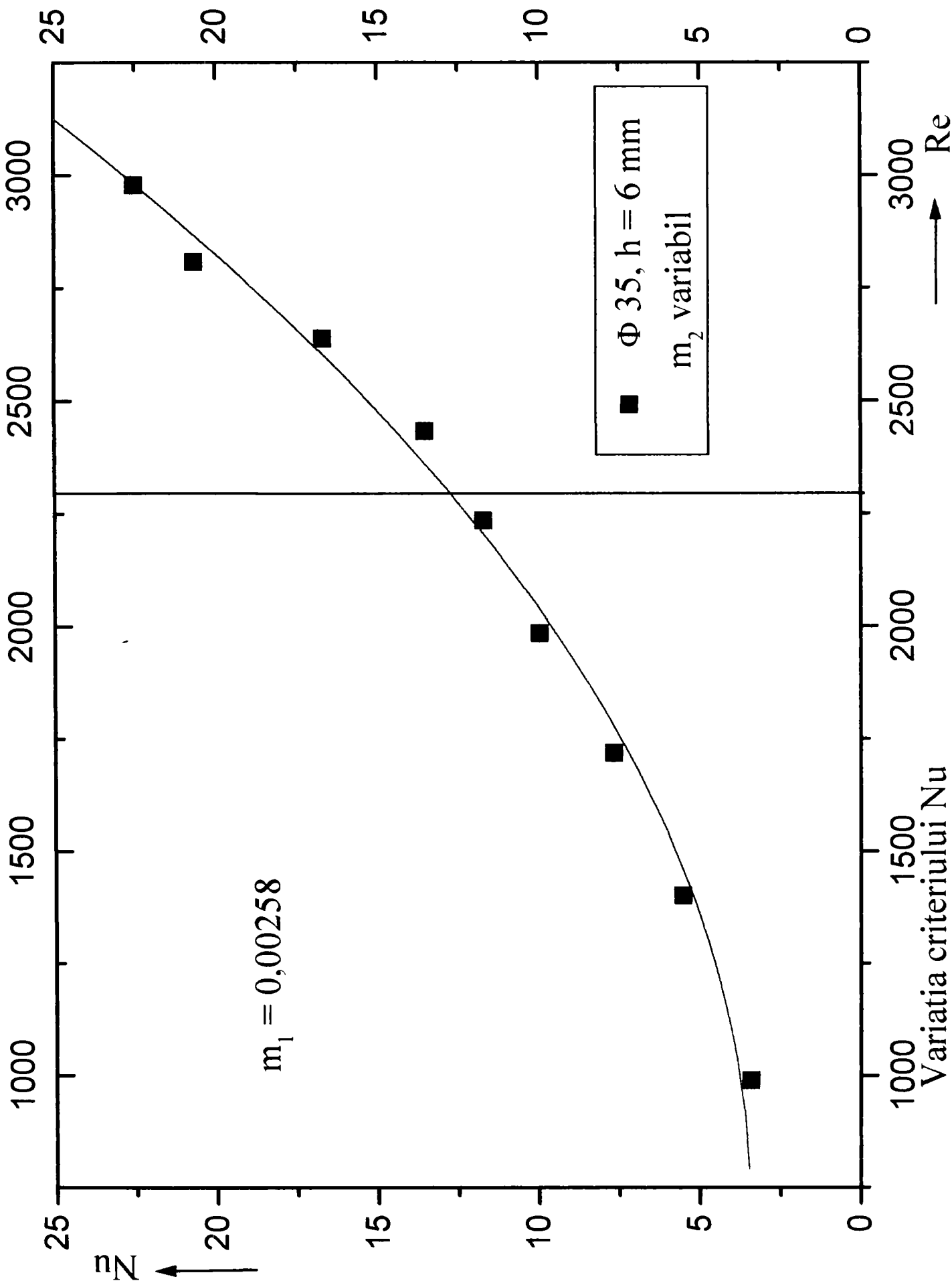
Variatia fluxului termic Q_2 in functie de viteza aerului w_2

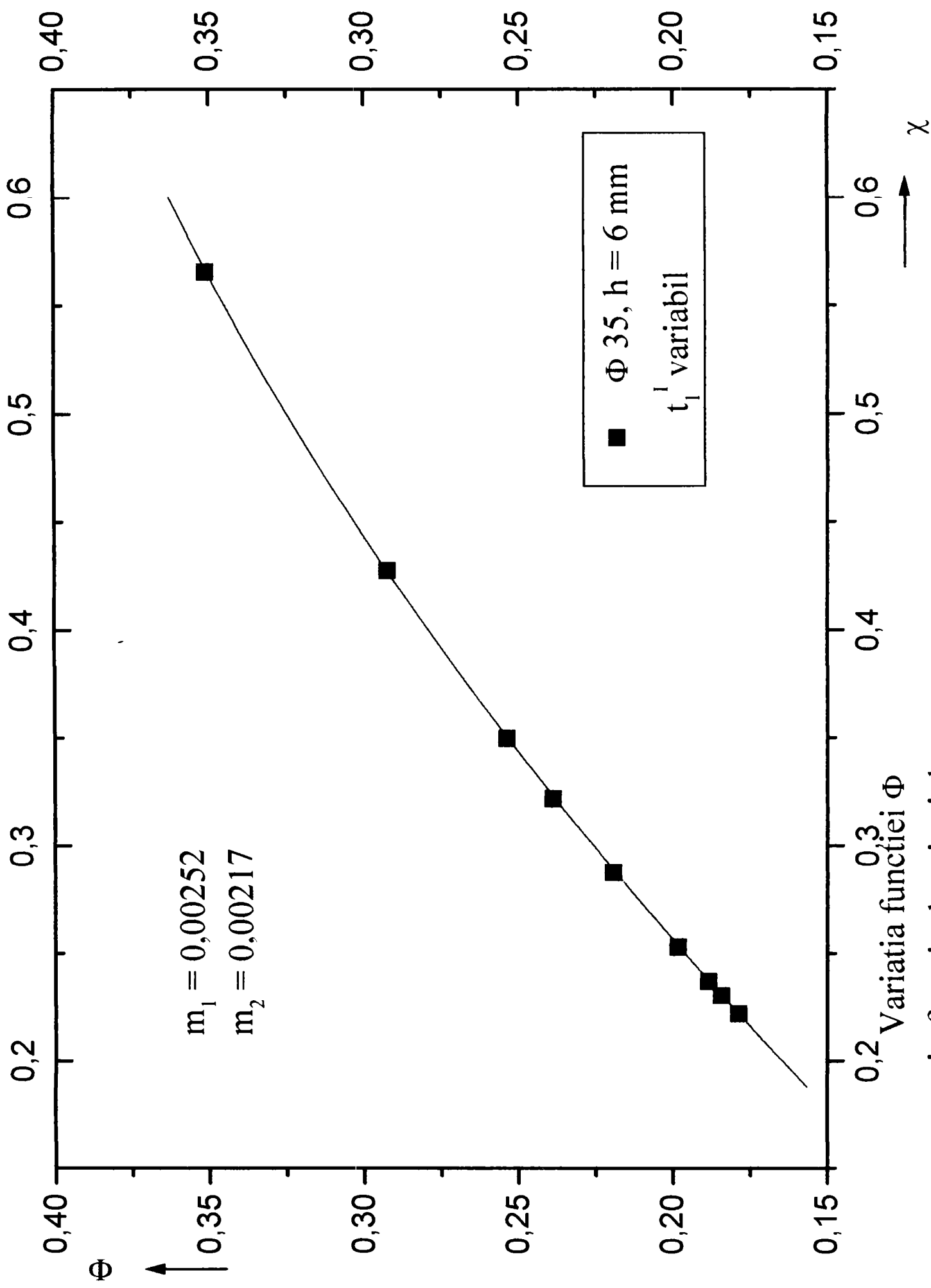


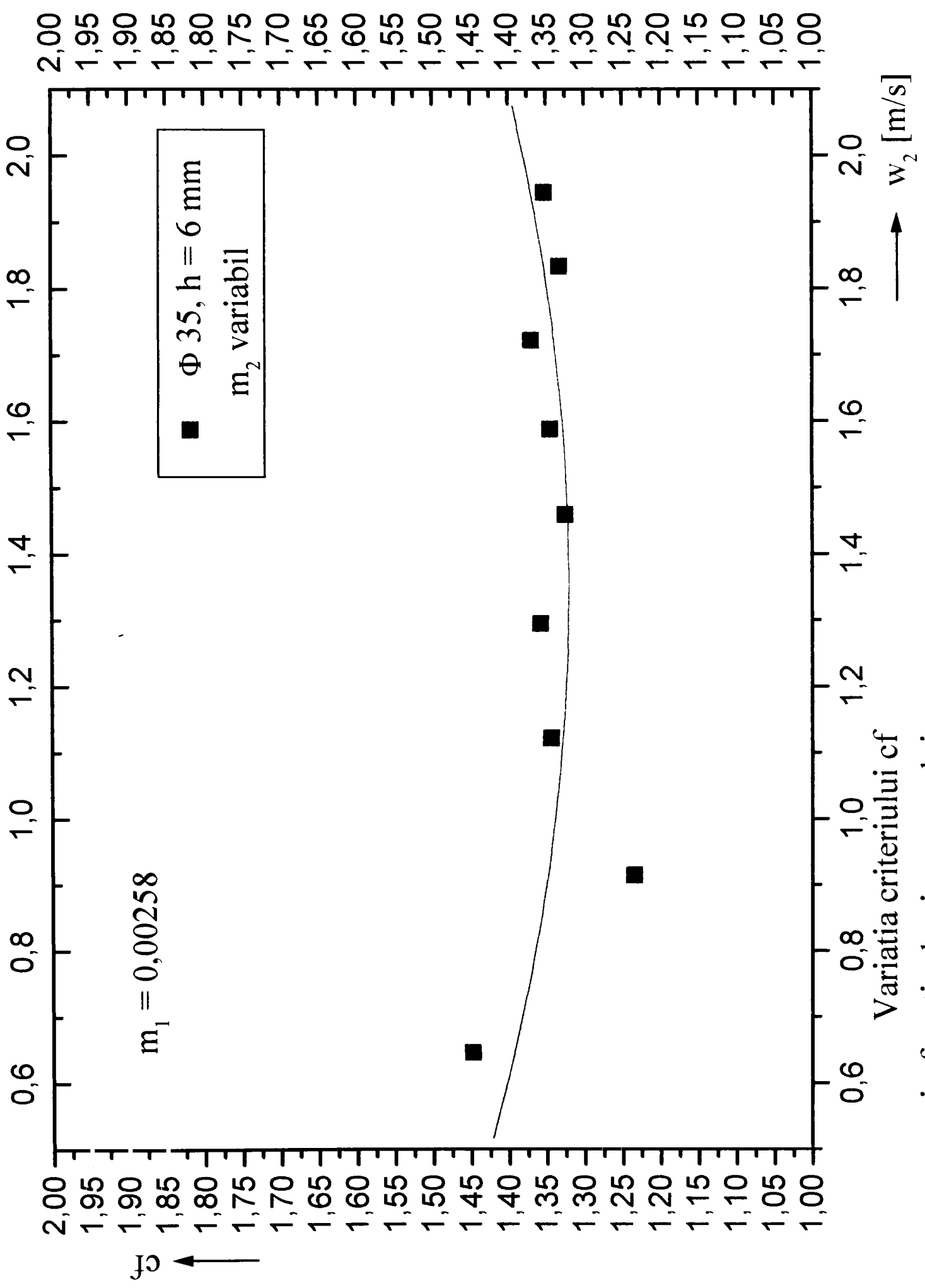
Variatia coef. global de transm. a caldurii K_2 in functie de viteza aerului w_2

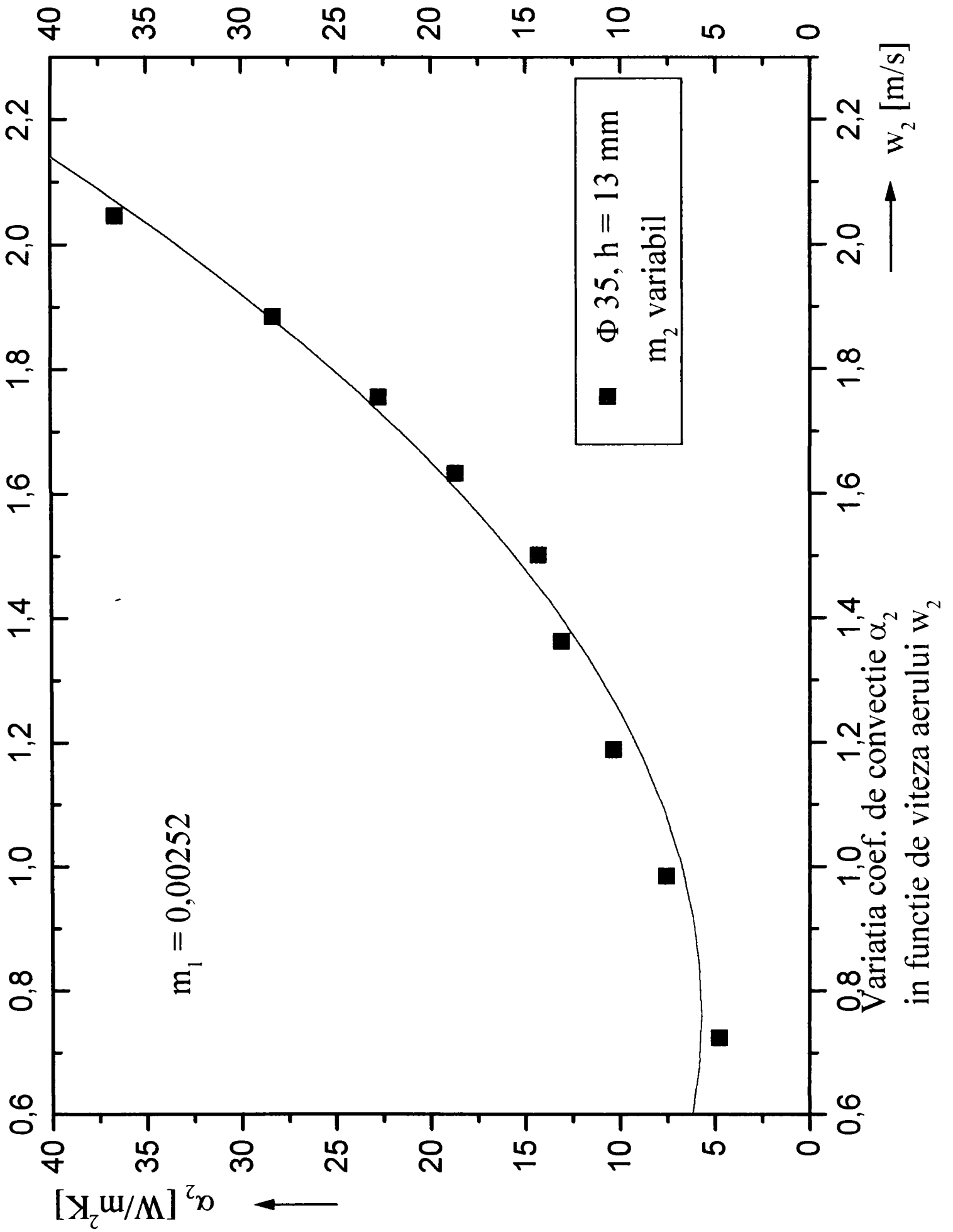


Variatia criteriului cf
in functie de criteriul Re

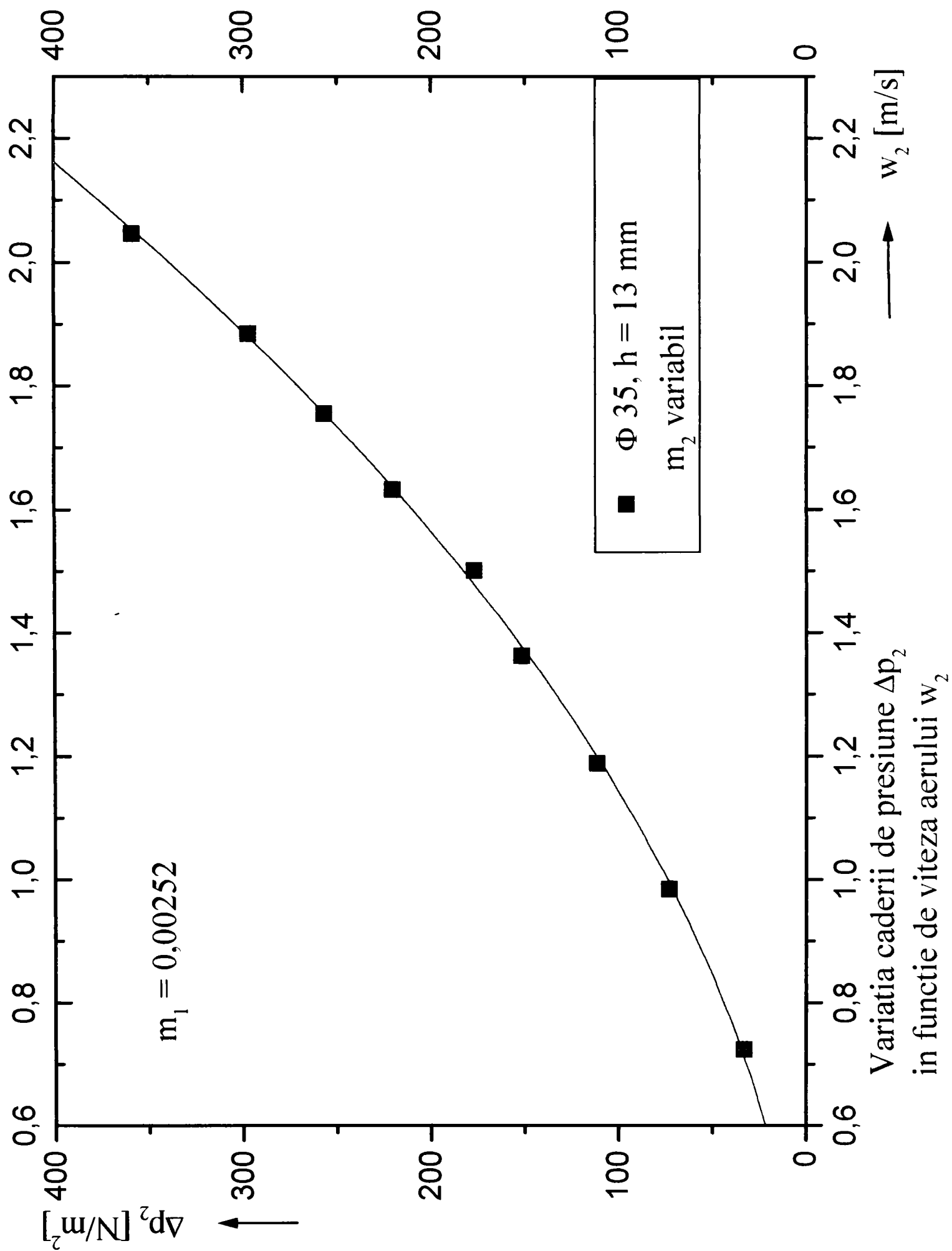


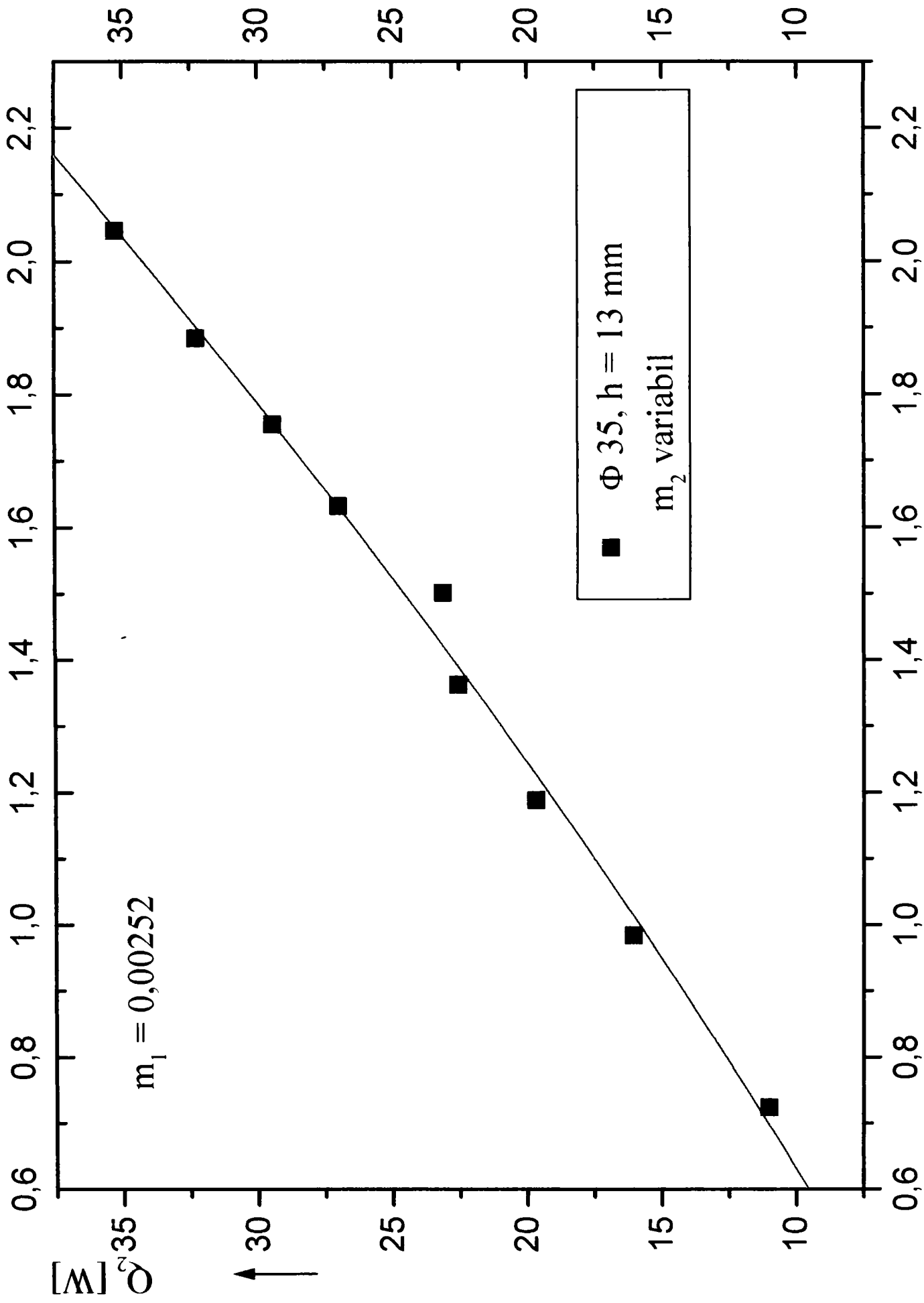






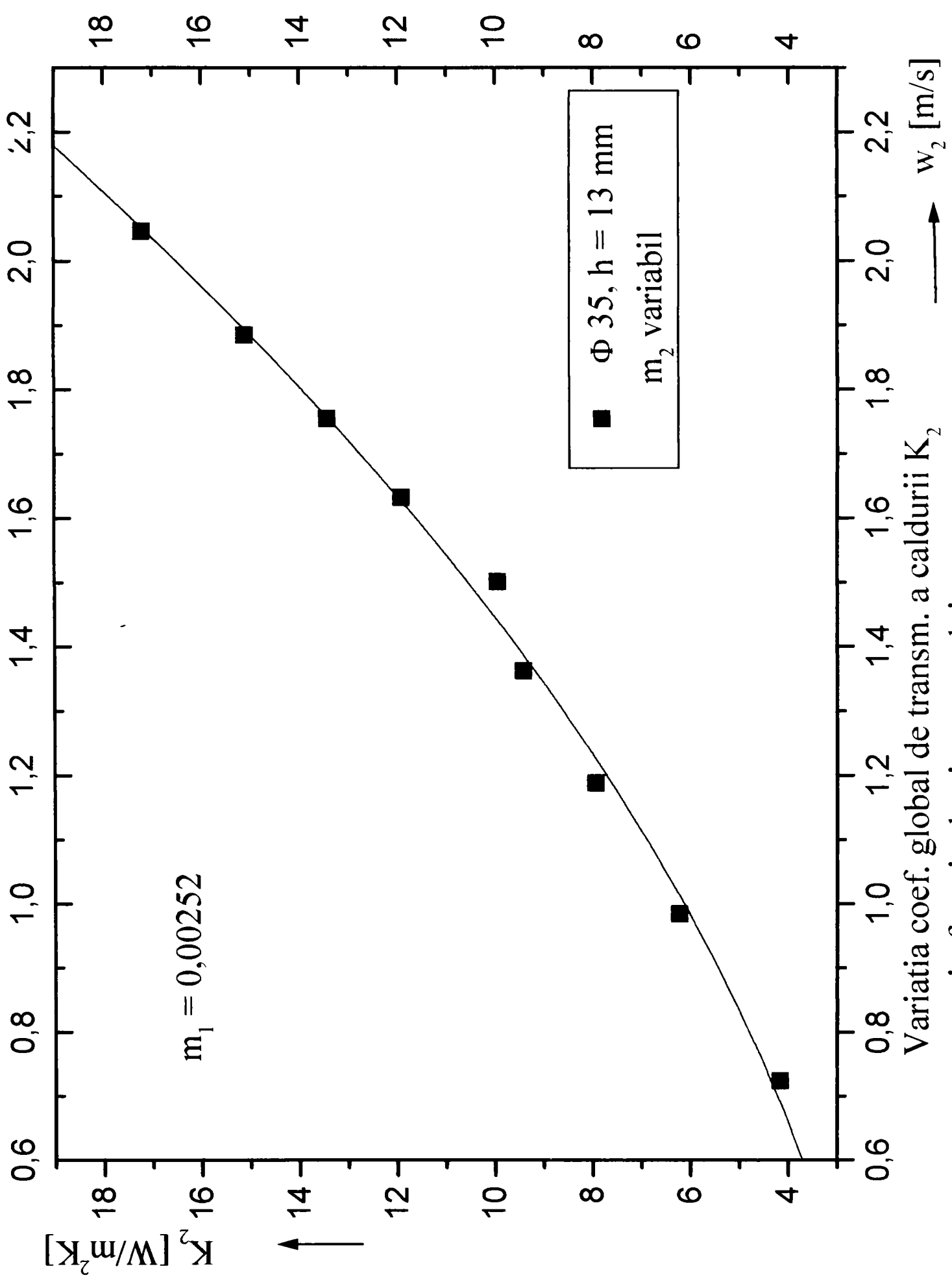
Biblioteca Centrală
 a Universității
 din București



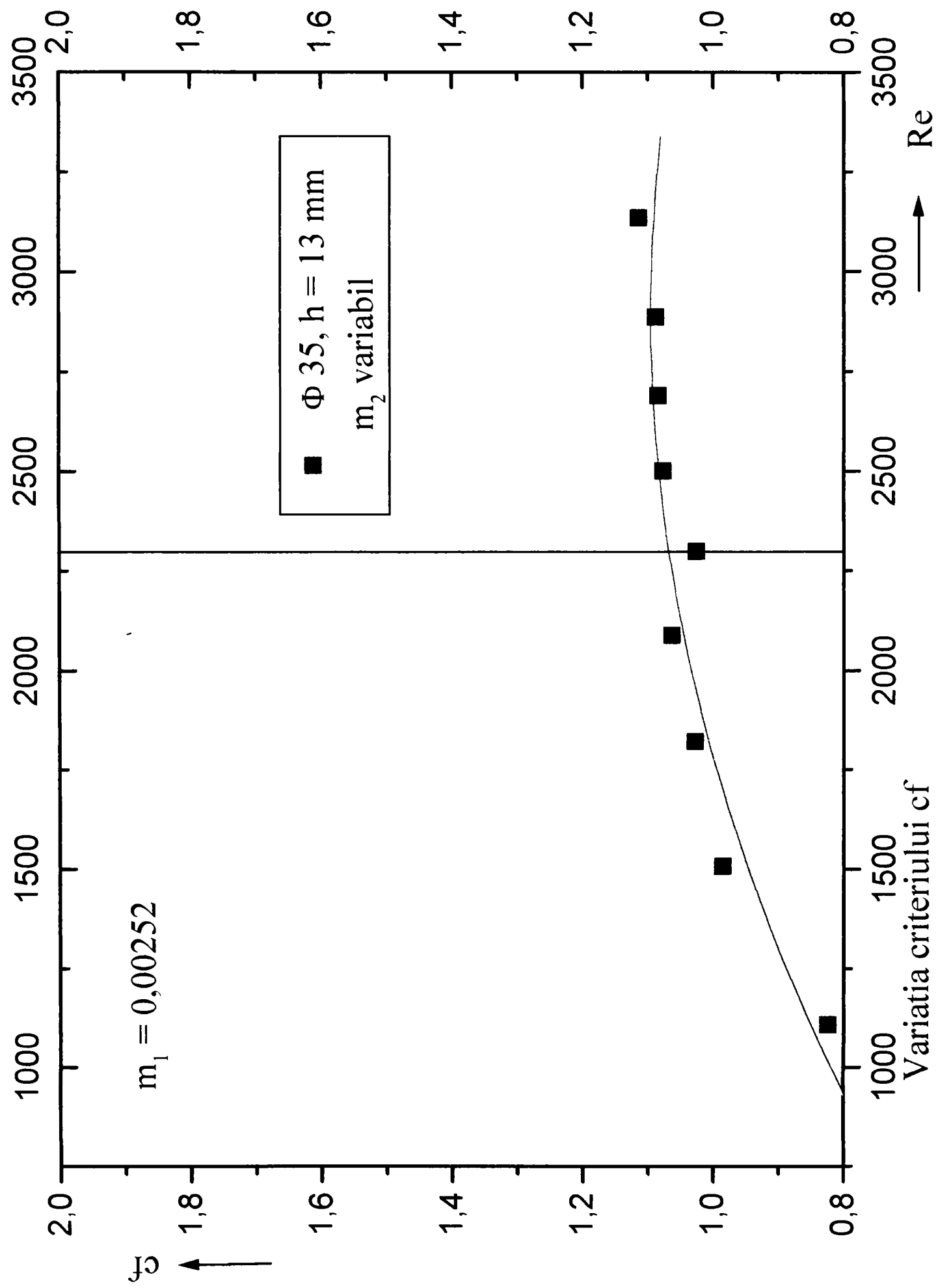


Variatia fluxului termic Q_2 in functie de viteza aerului w_2

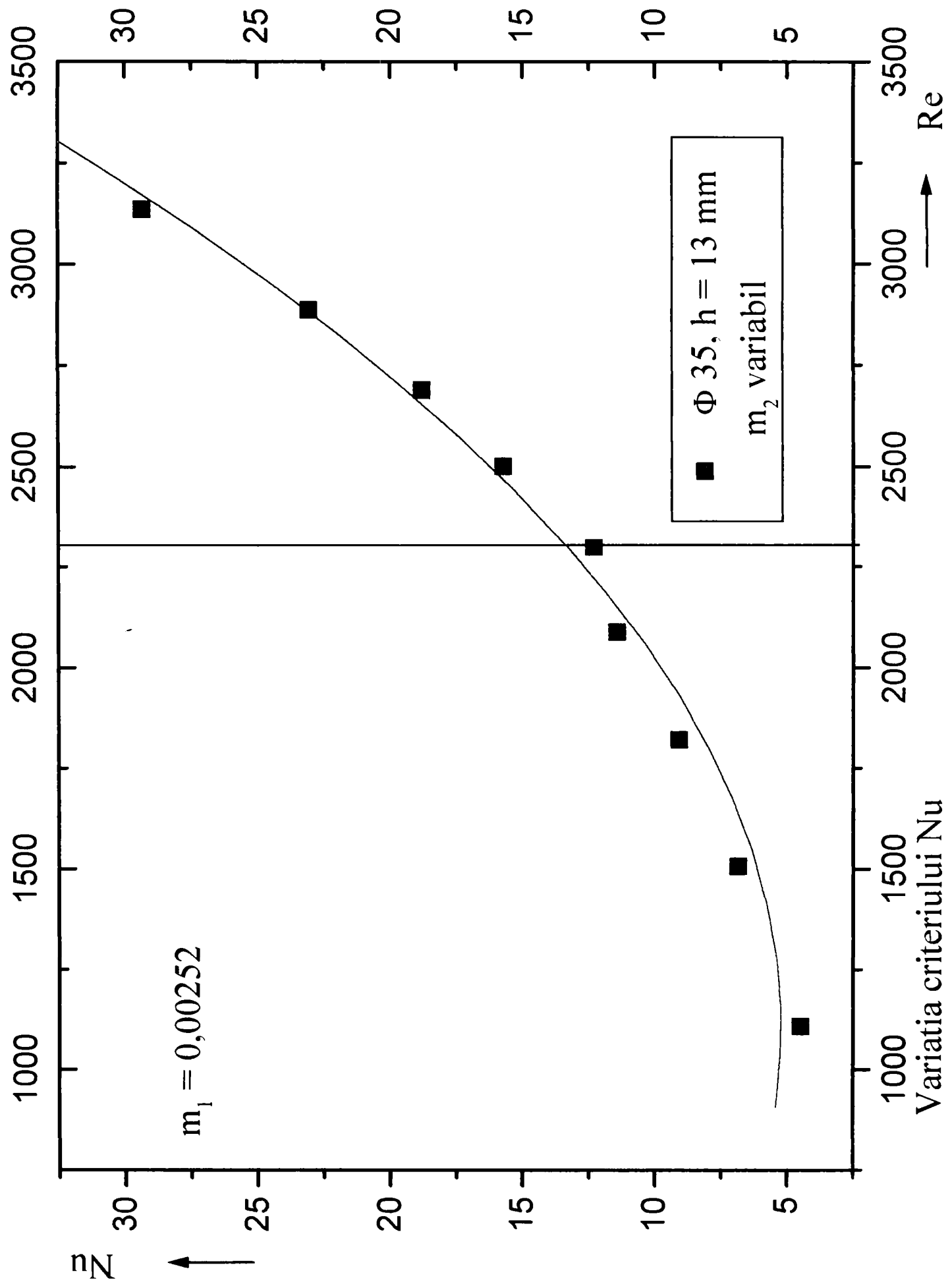
w_2 [m/s]



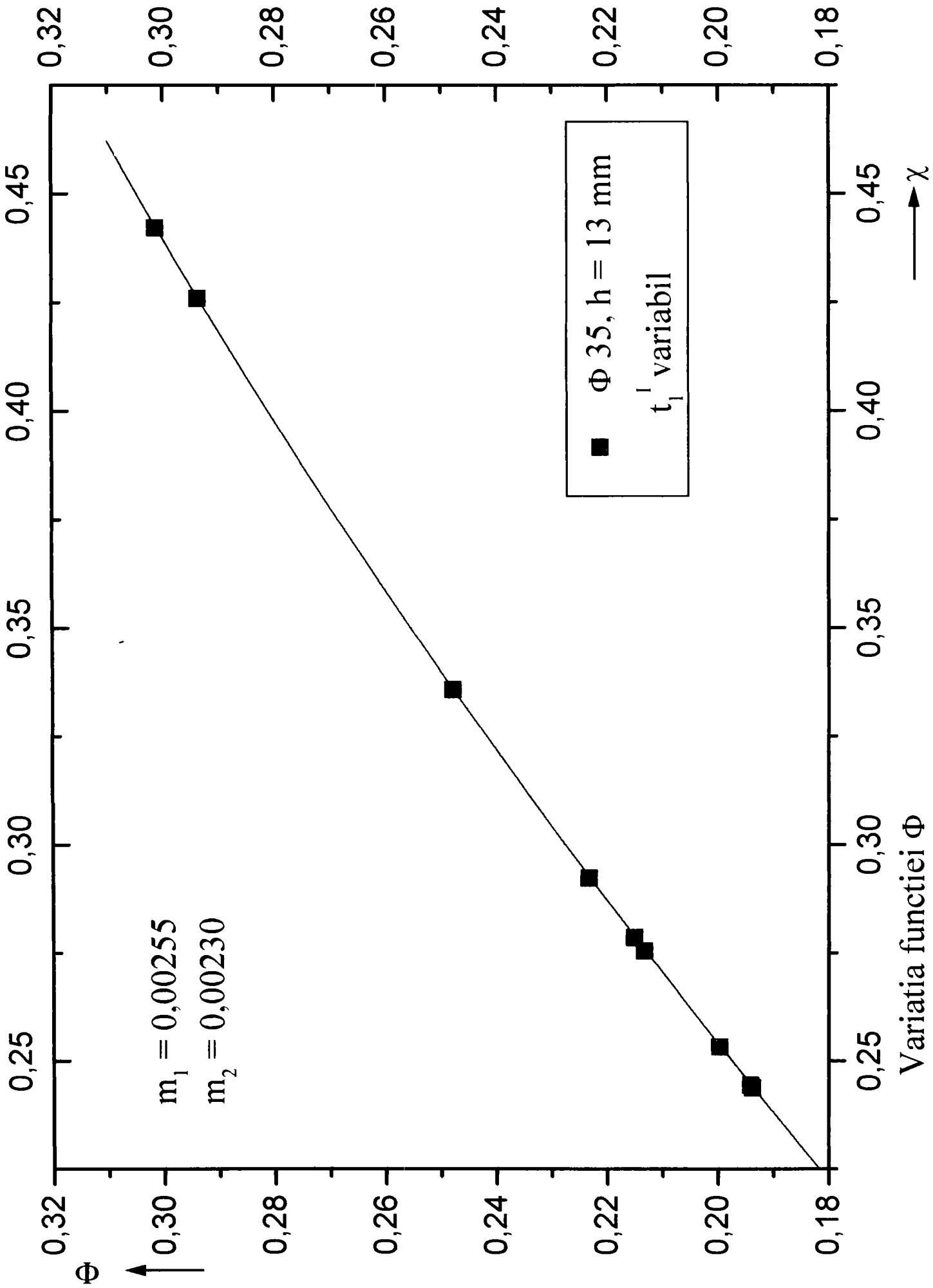
Variatia coef. global de transm. a caldurii K_2
 in functie de viteza aerului w_2

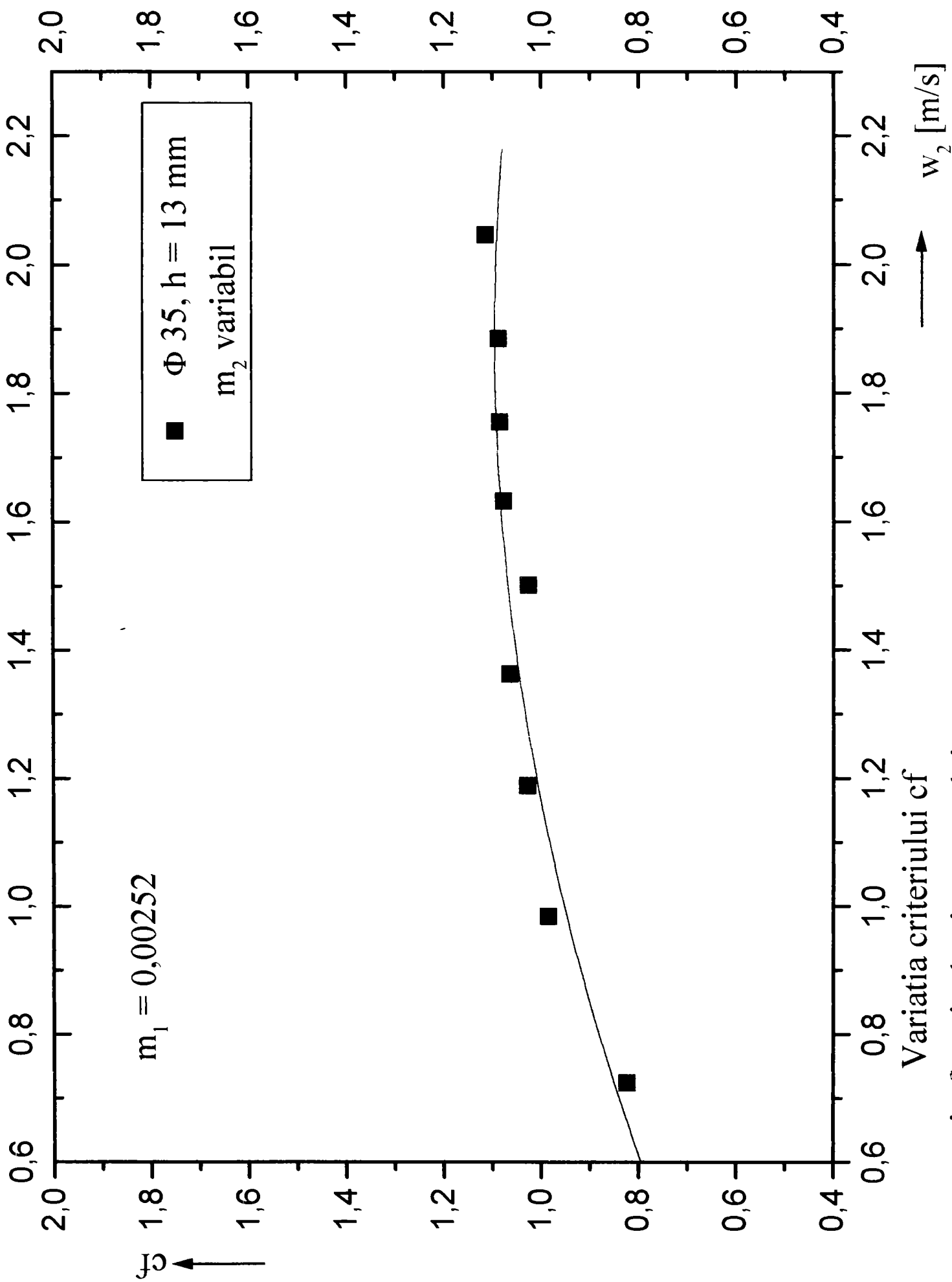


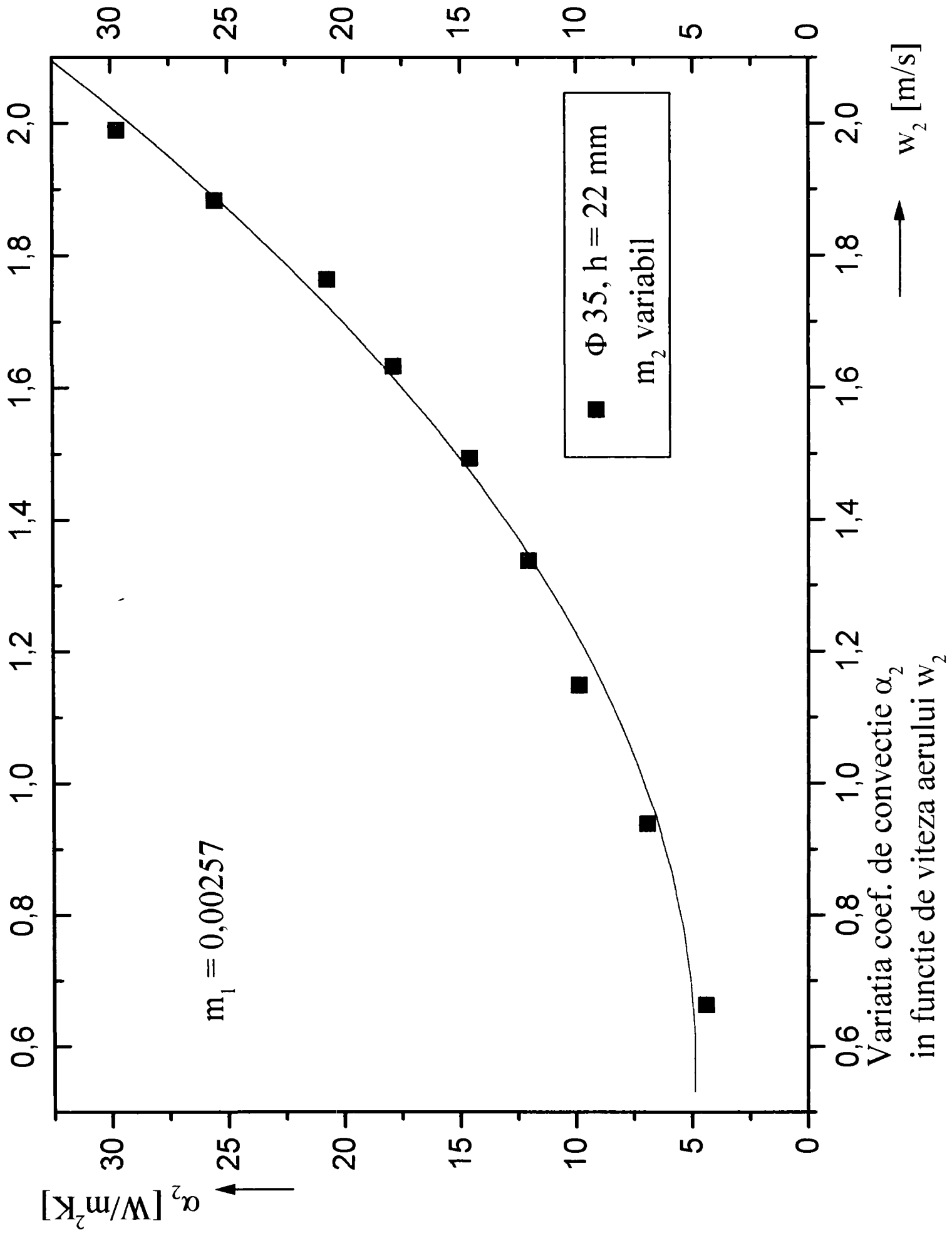
Variatia criteriului cf
in functie de criteriul Re

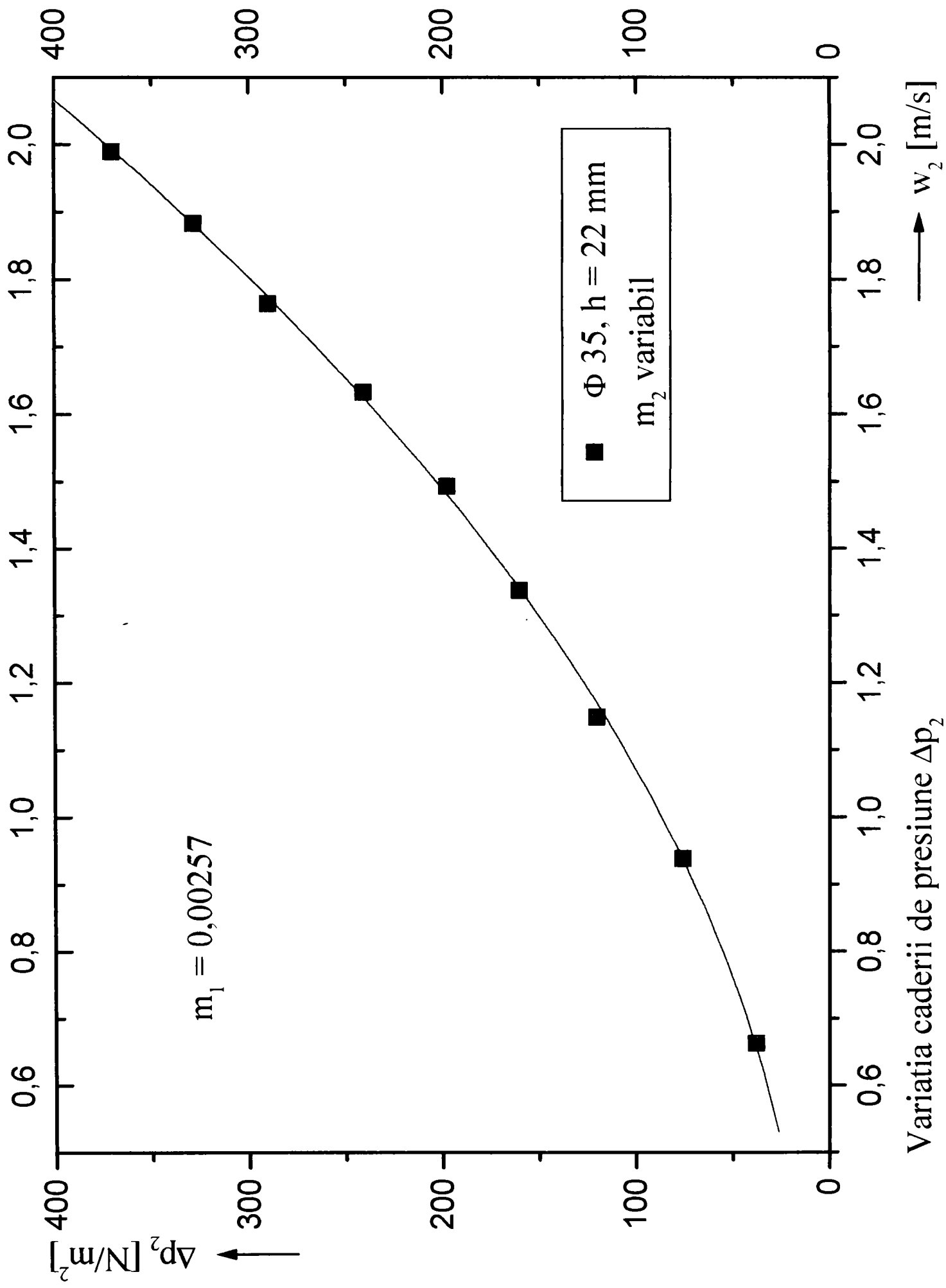


Variatia criteriului Nu
in functie de criteriul Re



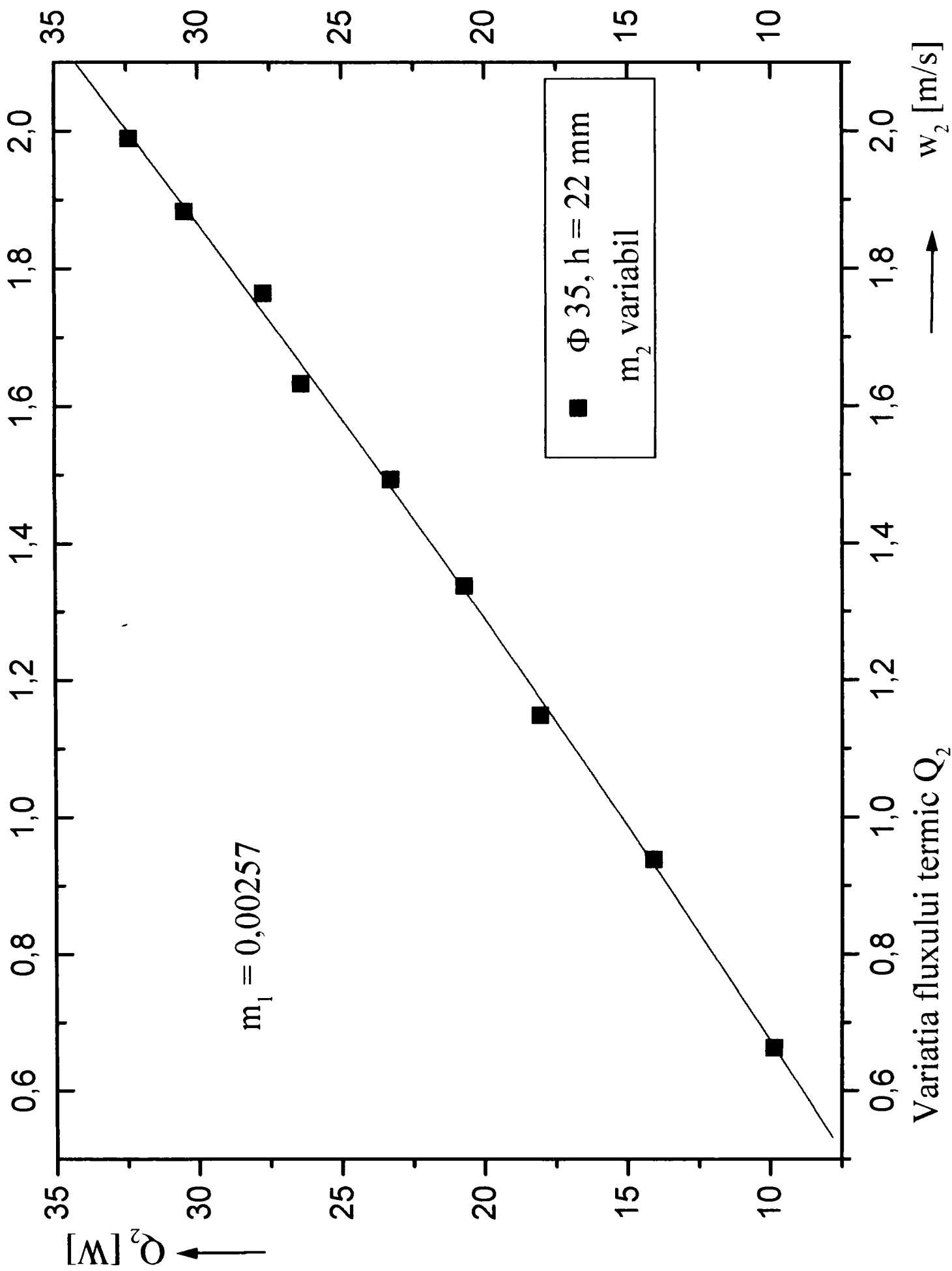




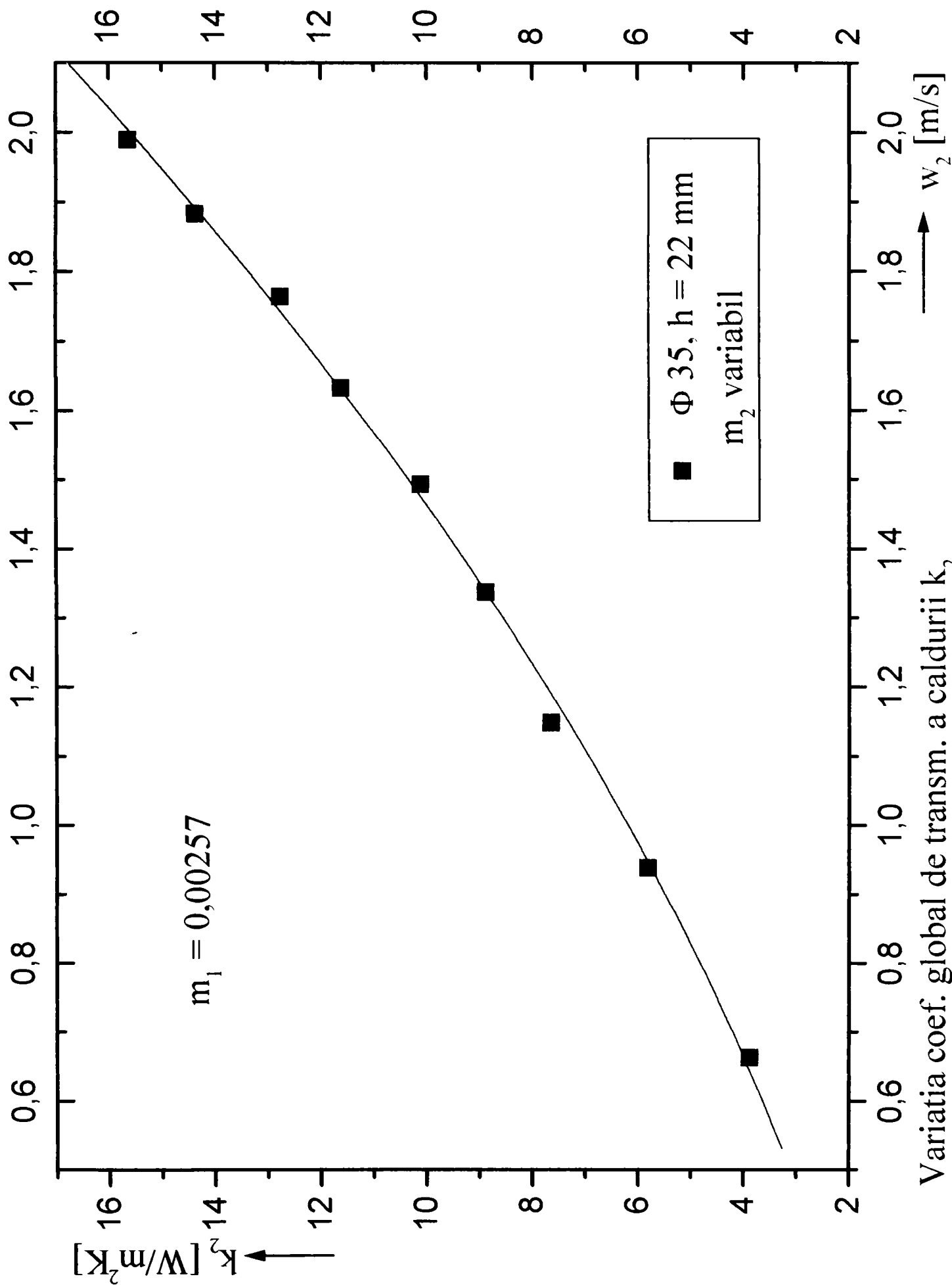


Variatia caderii de presiune Δp_2
in functie de viteza aerului w_2

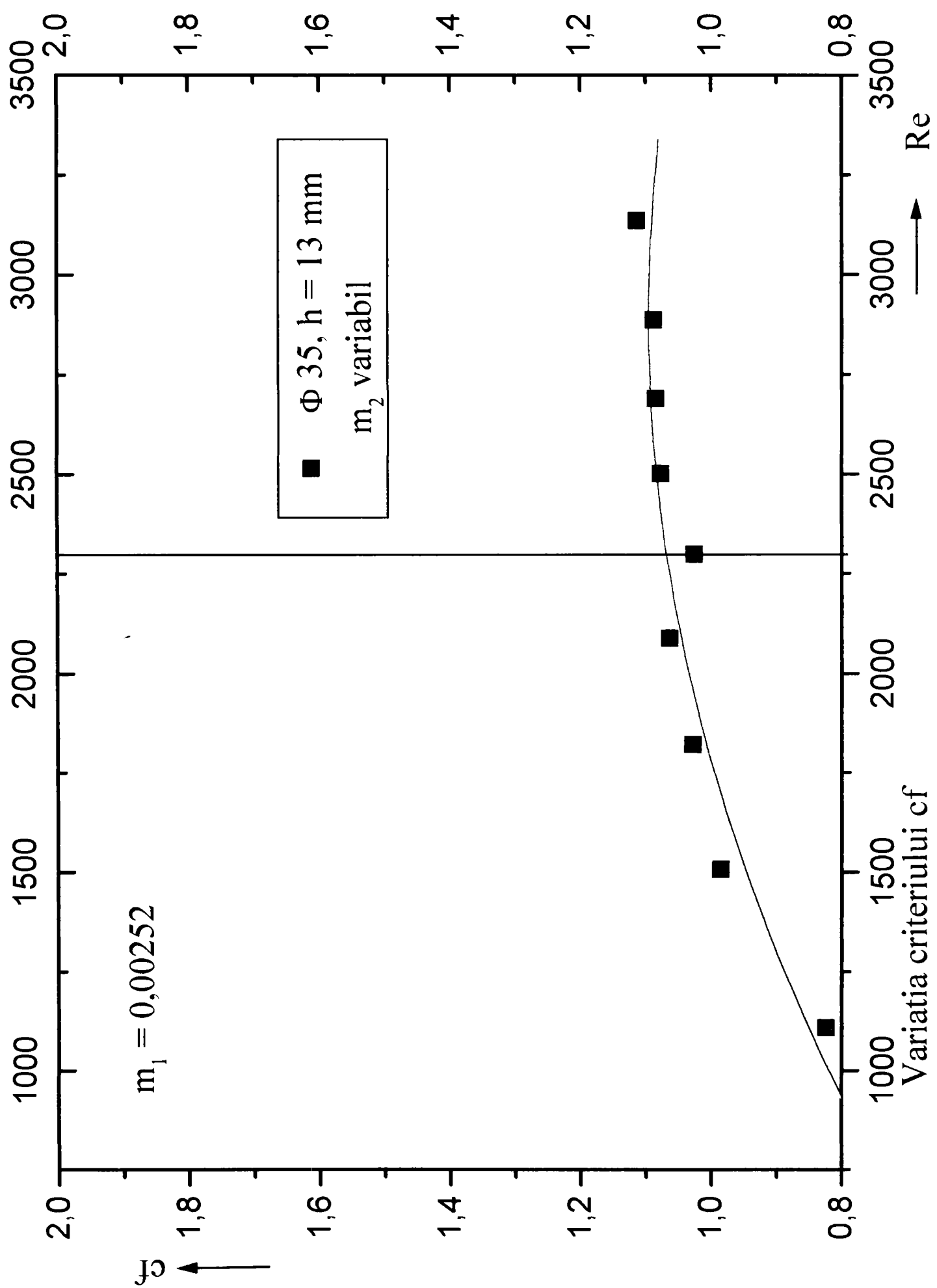
→ w_2 [m/s]



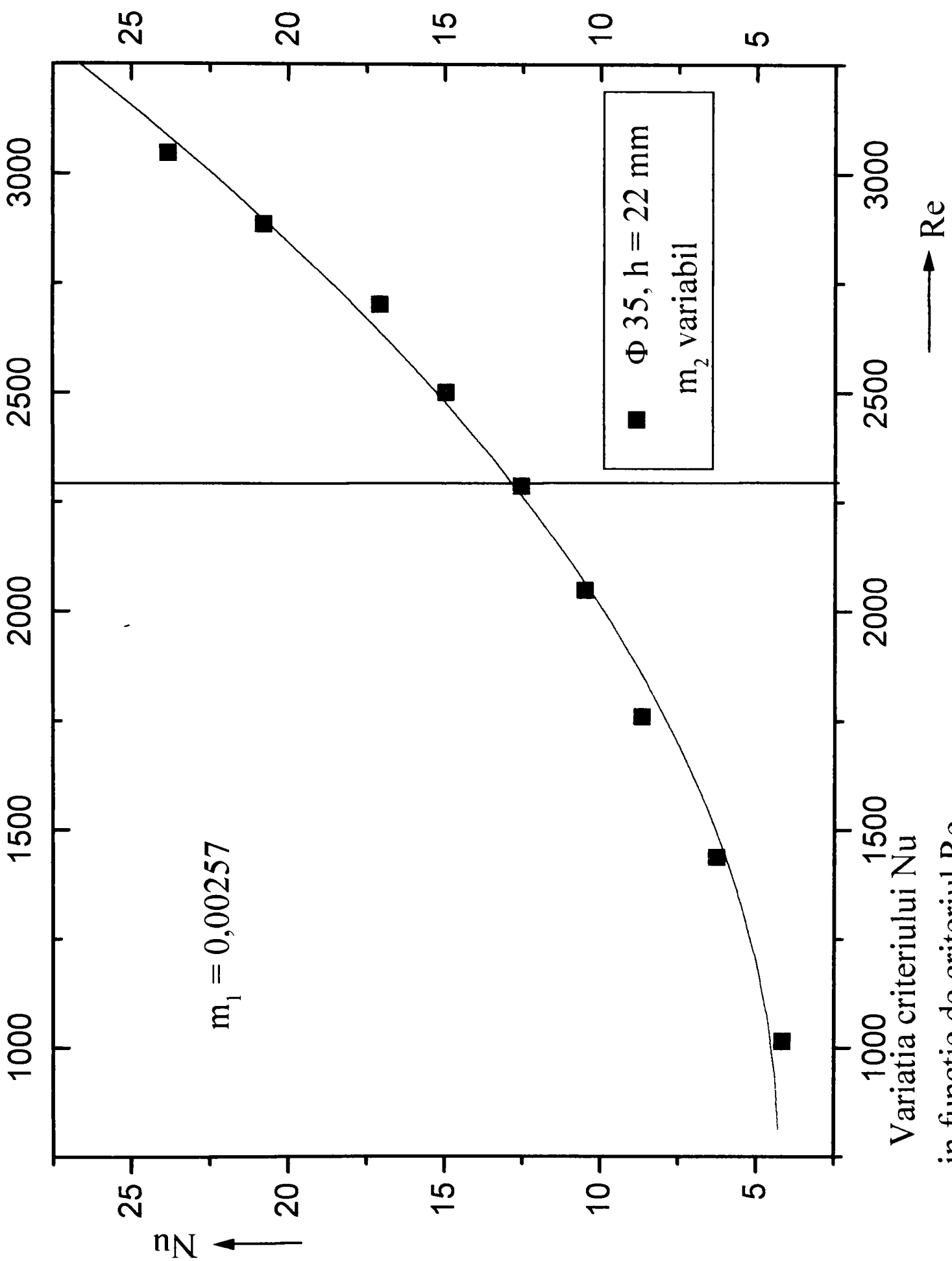
Variatia fluxului termic Q_2
 in functie de viteza aerului w_2

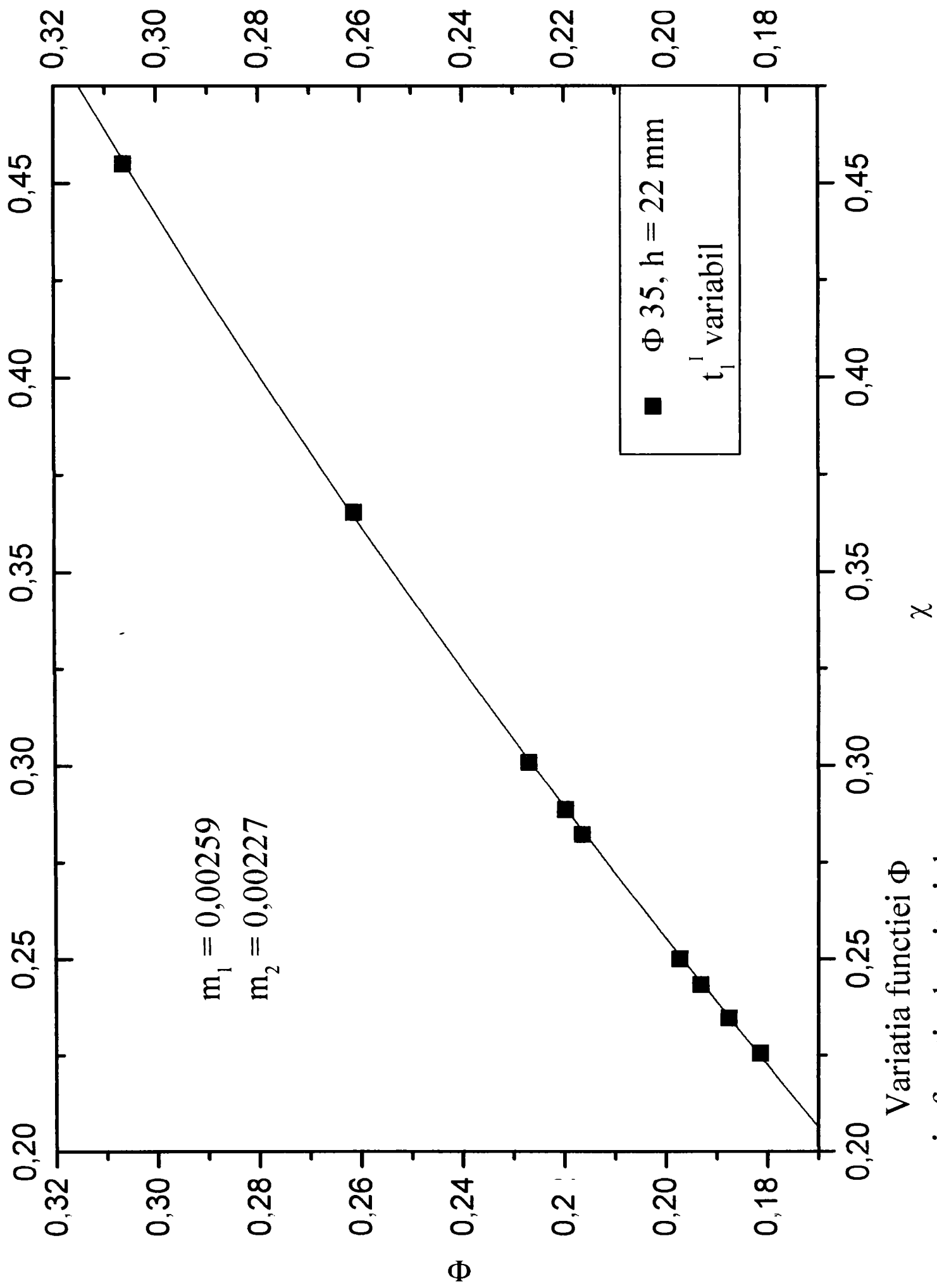


Variatia coef. global de transm. a caldurii k_2
 in functie de viteza aerului w_2

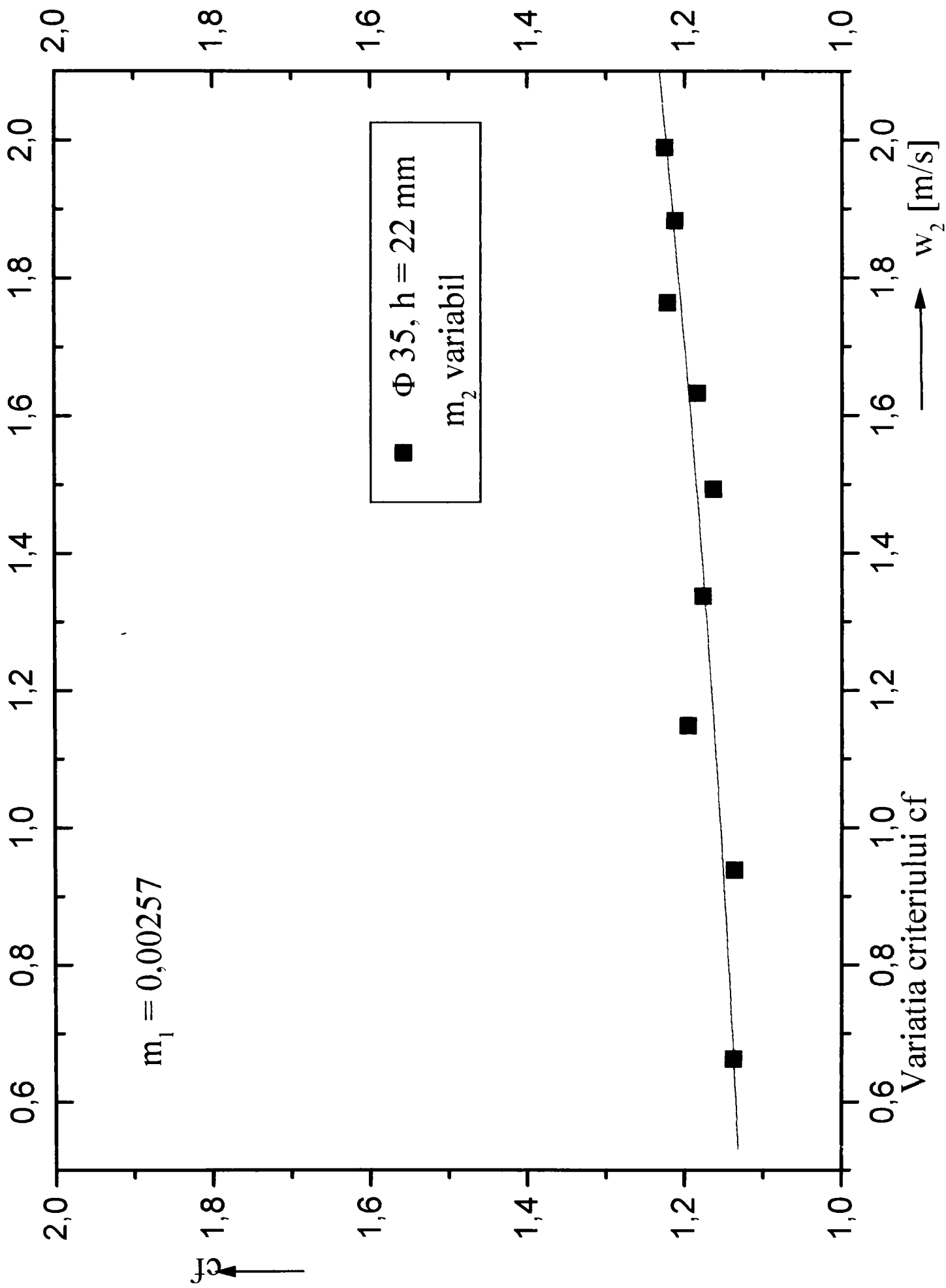


Variatia criteriului cf
in functie de criteriul Re

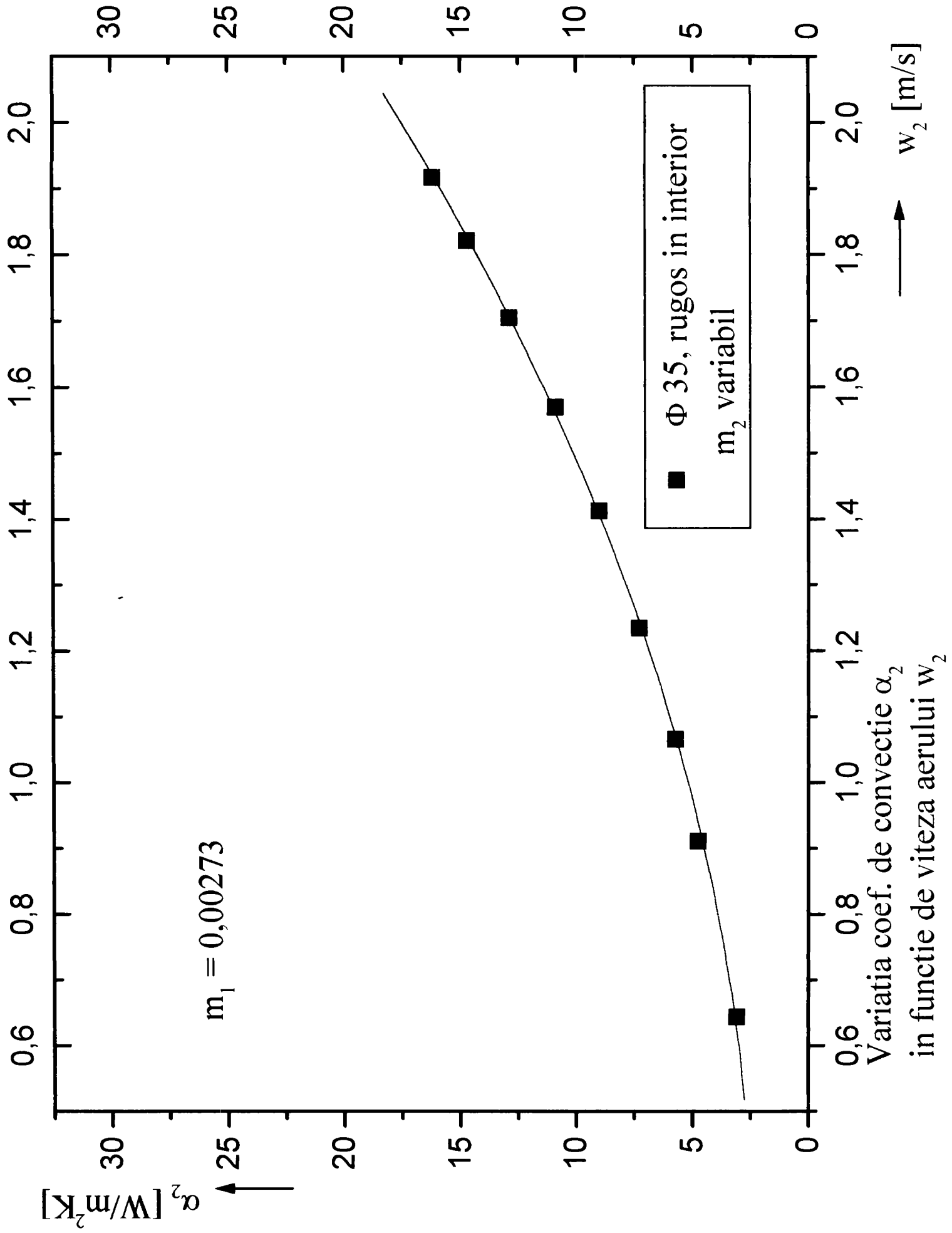


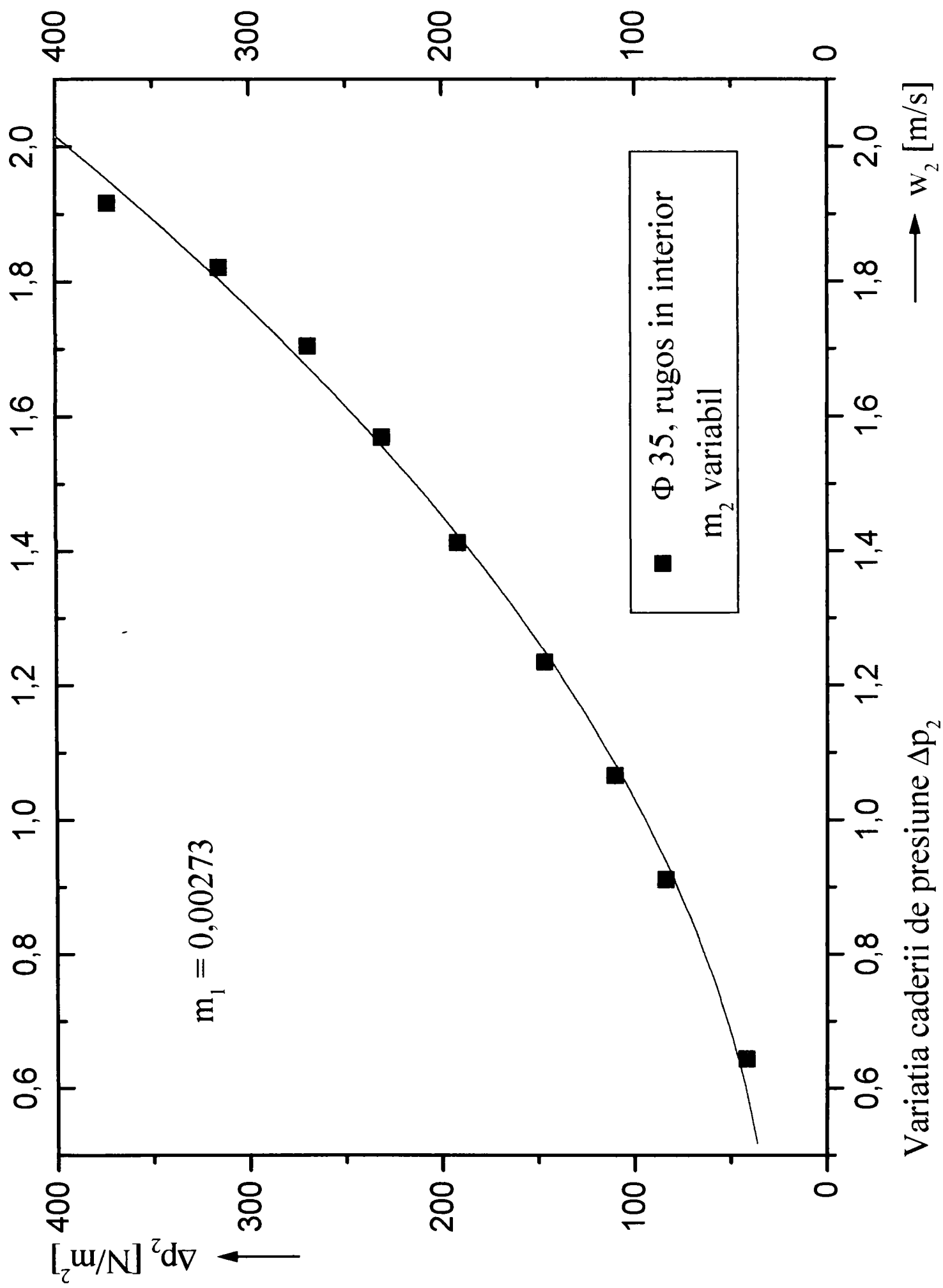


Variatia functiei Φ
in functie de criteriul χ

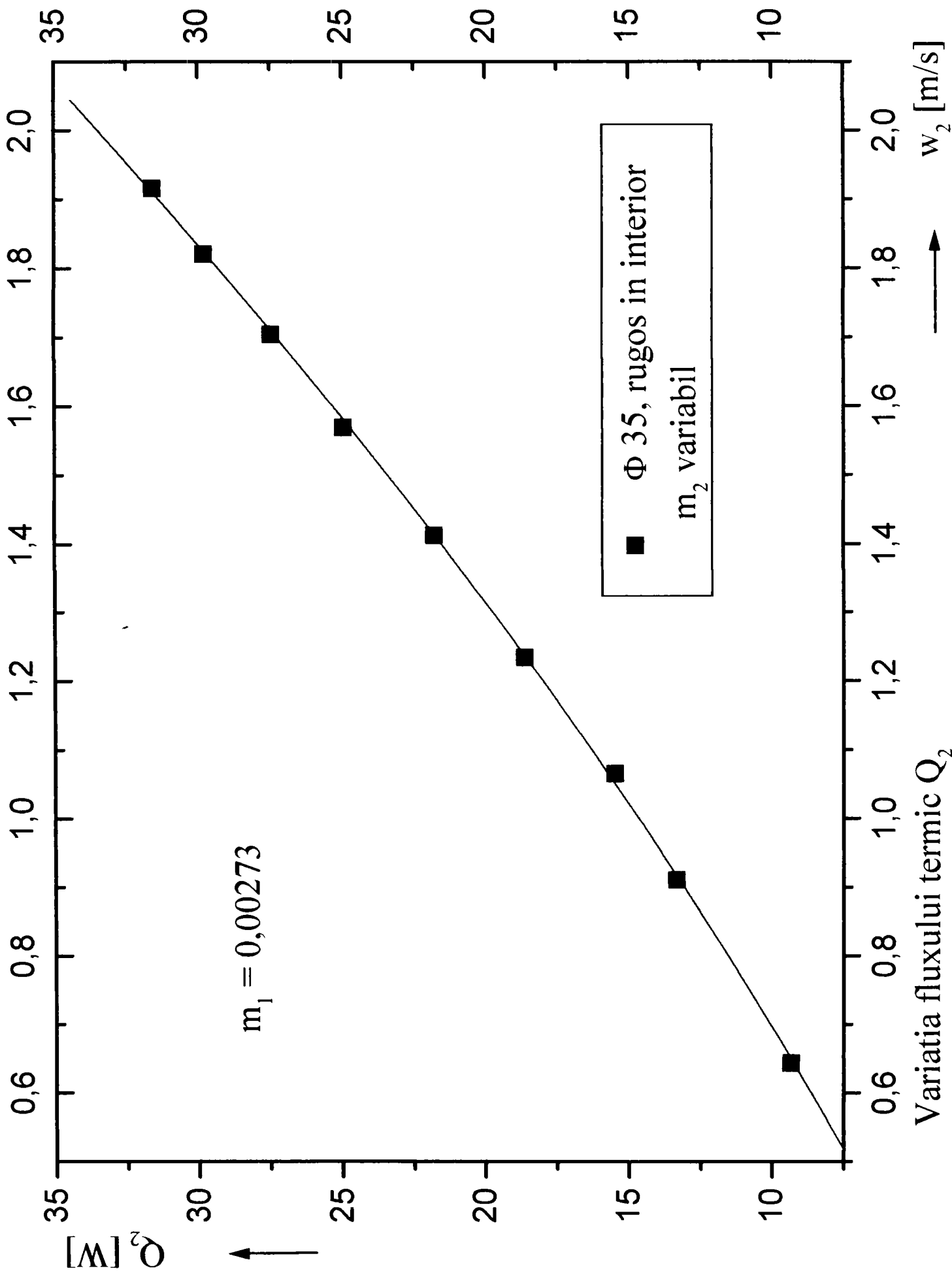


in functie de viteza aerului w_2

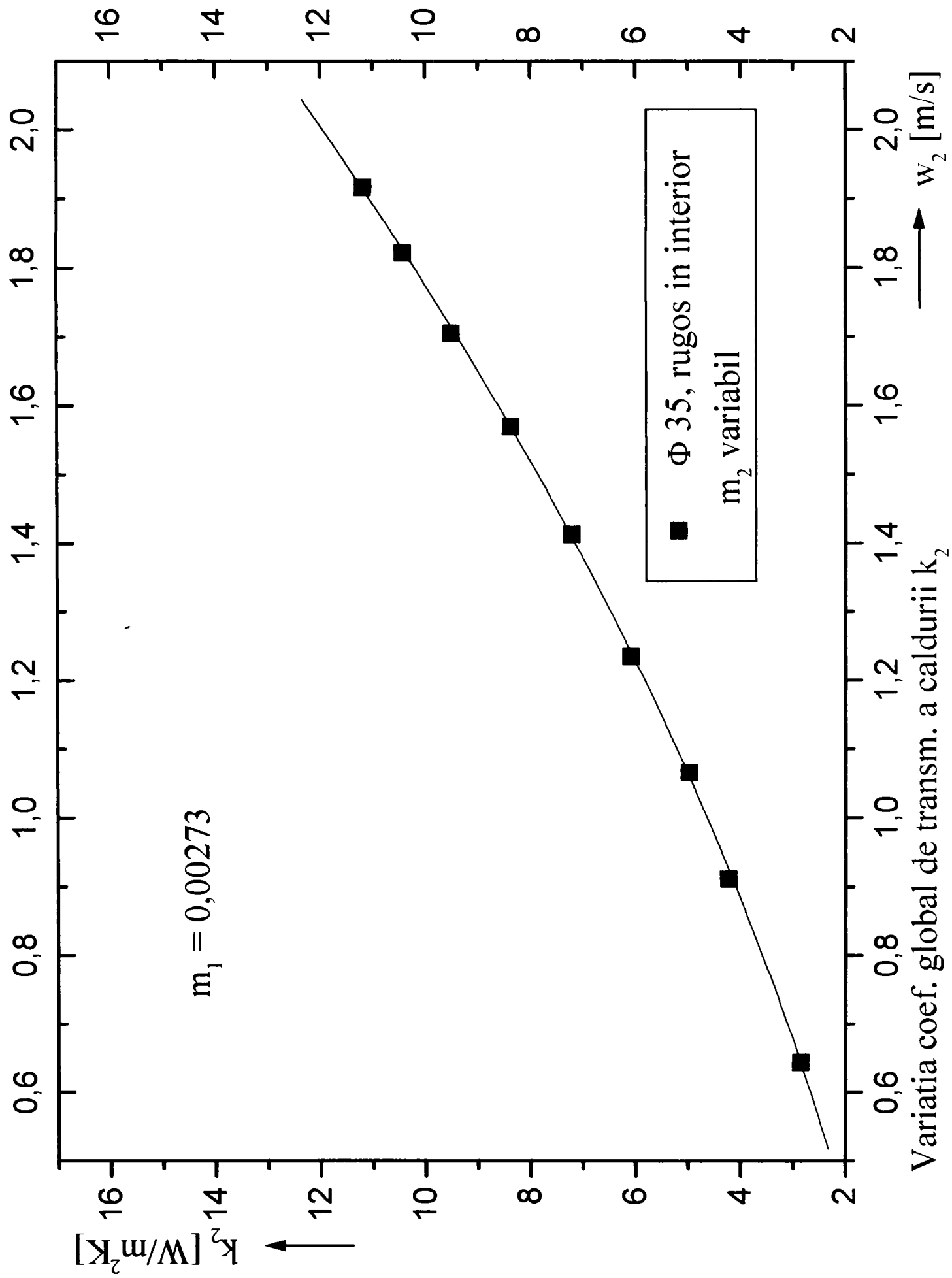




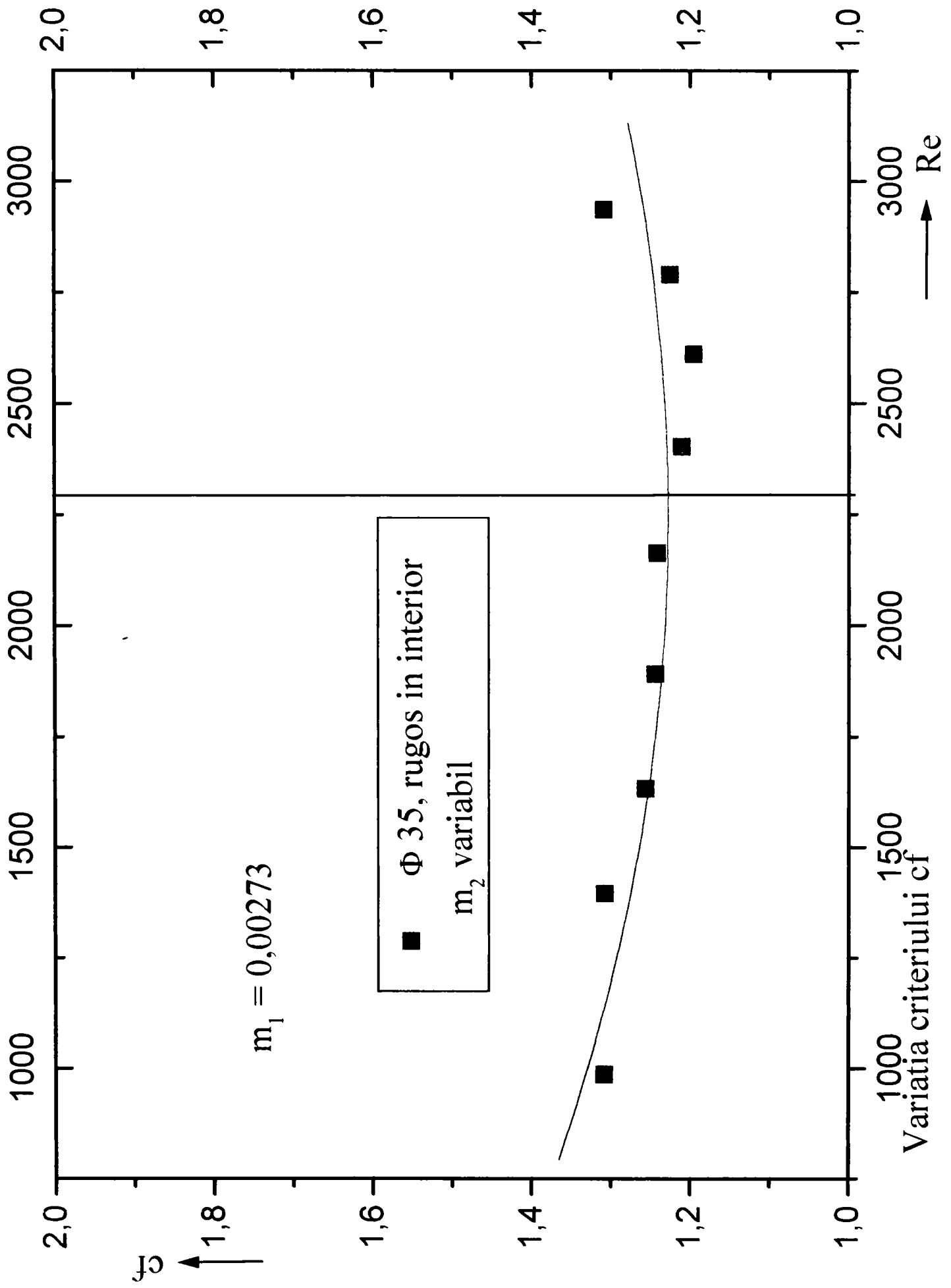
Variatia caderii de presiune Δp_2
 in functie de viteza aerului w_2

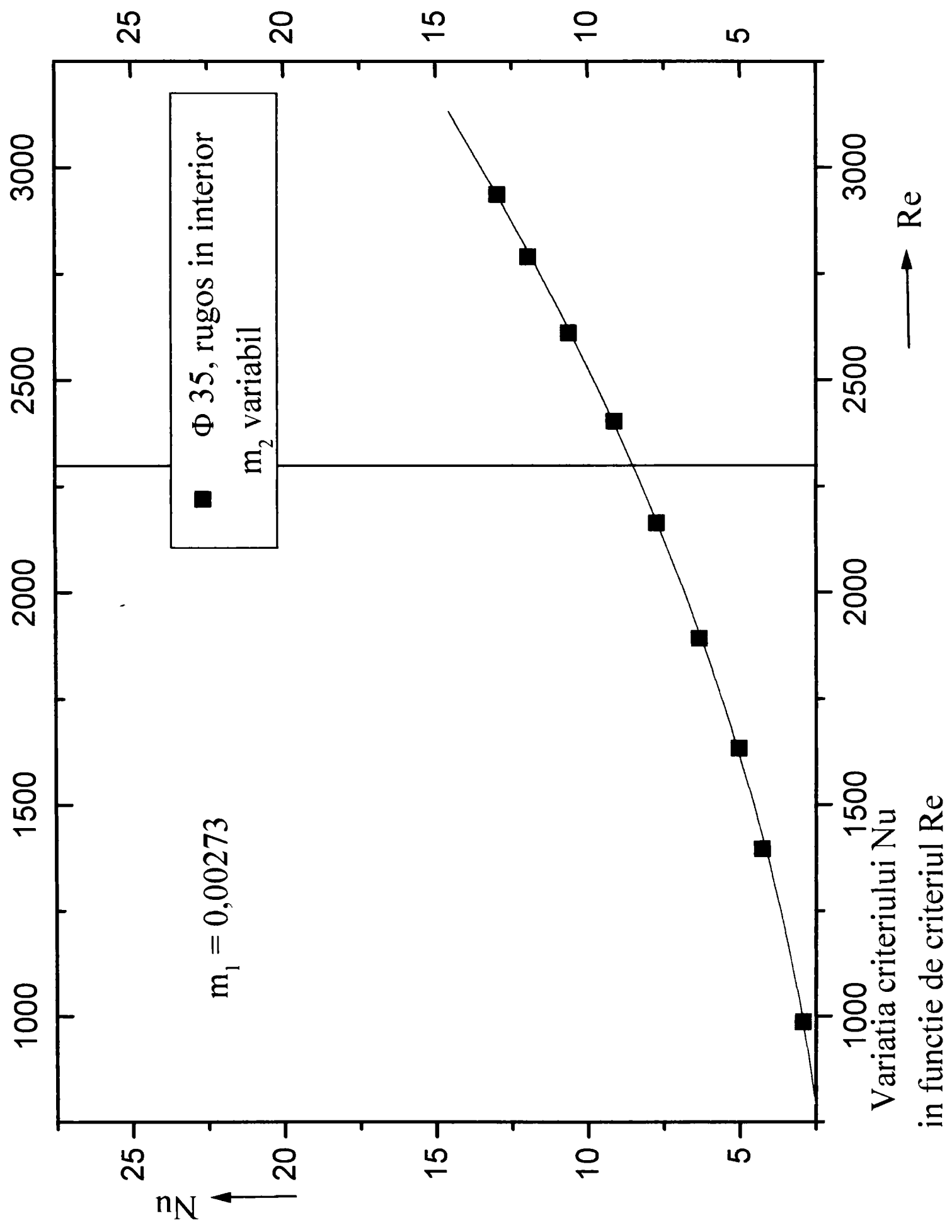


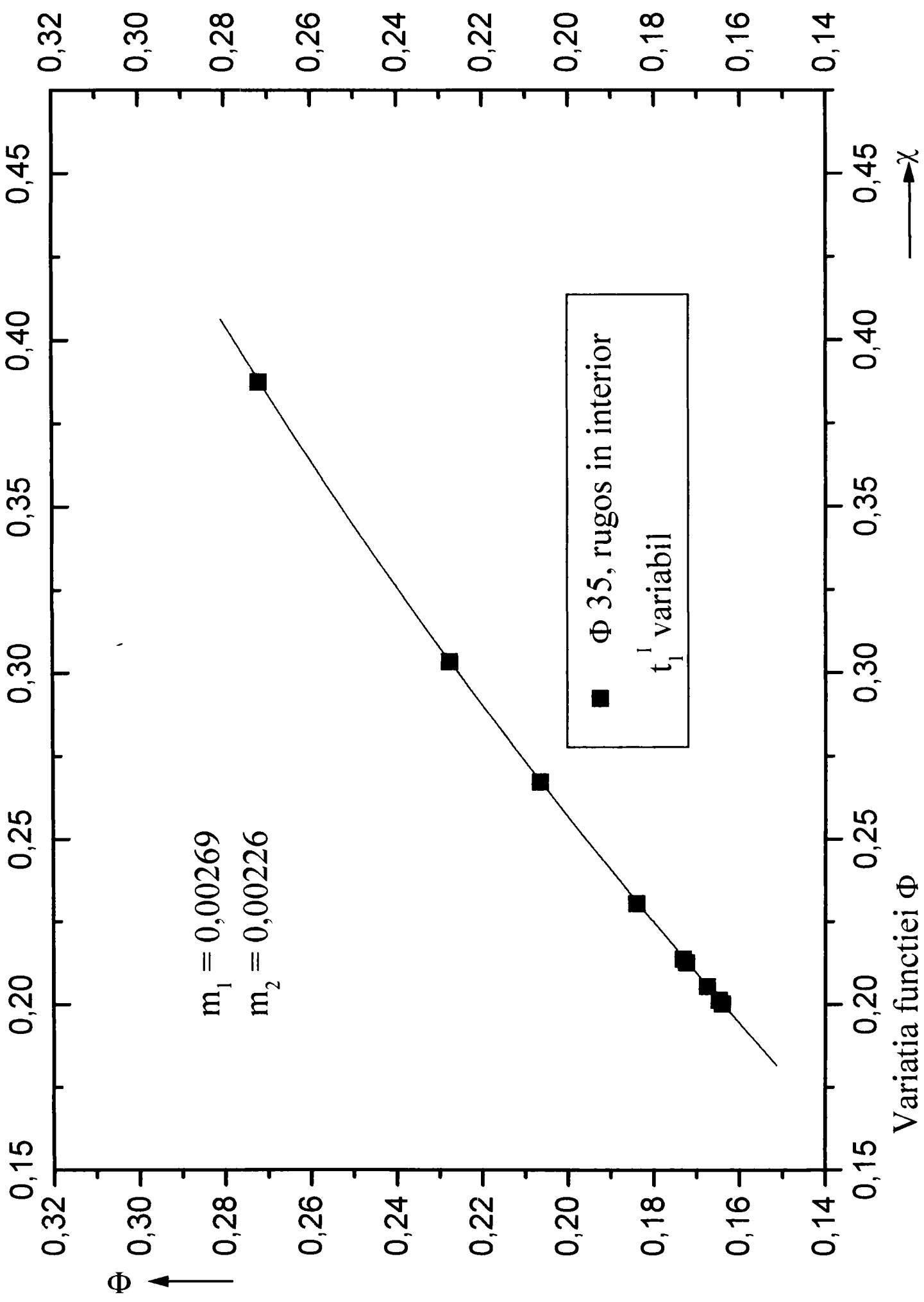
Variatia fluxului termic Q_2
in functie de viteza aerului w_2



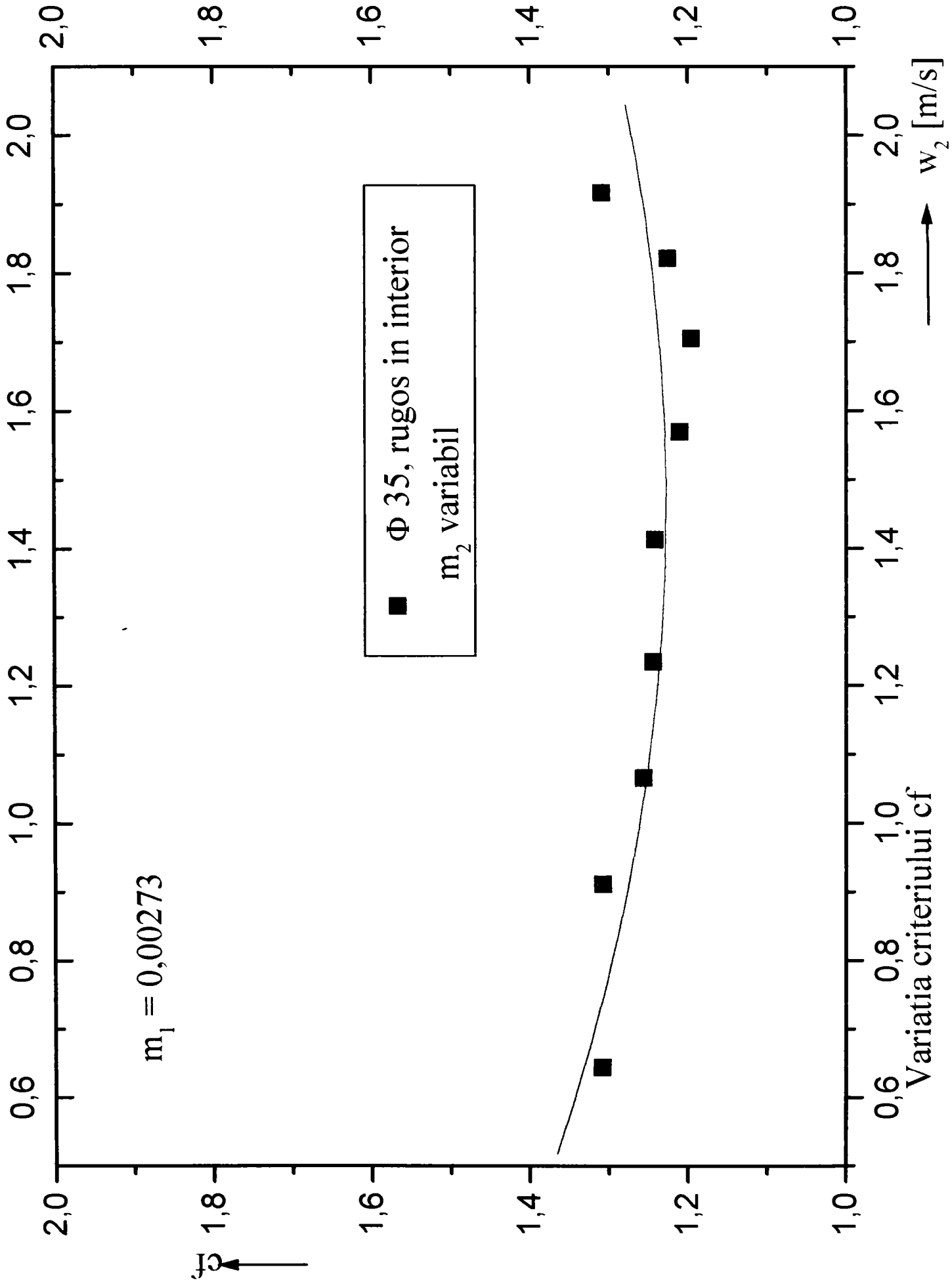
Variatia coef. global de transm. a caldurii k_2
in functie de viteza aerului w_2



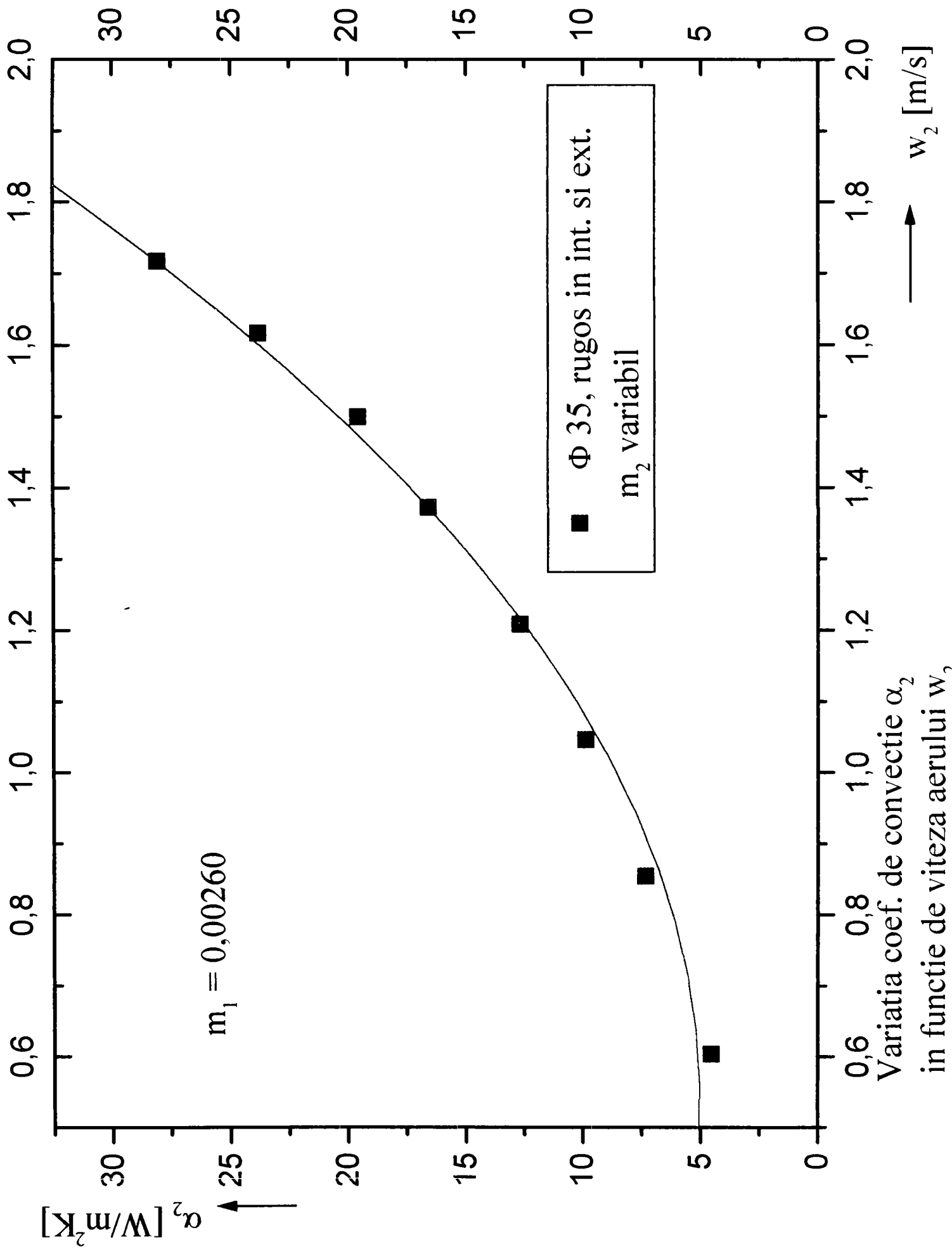




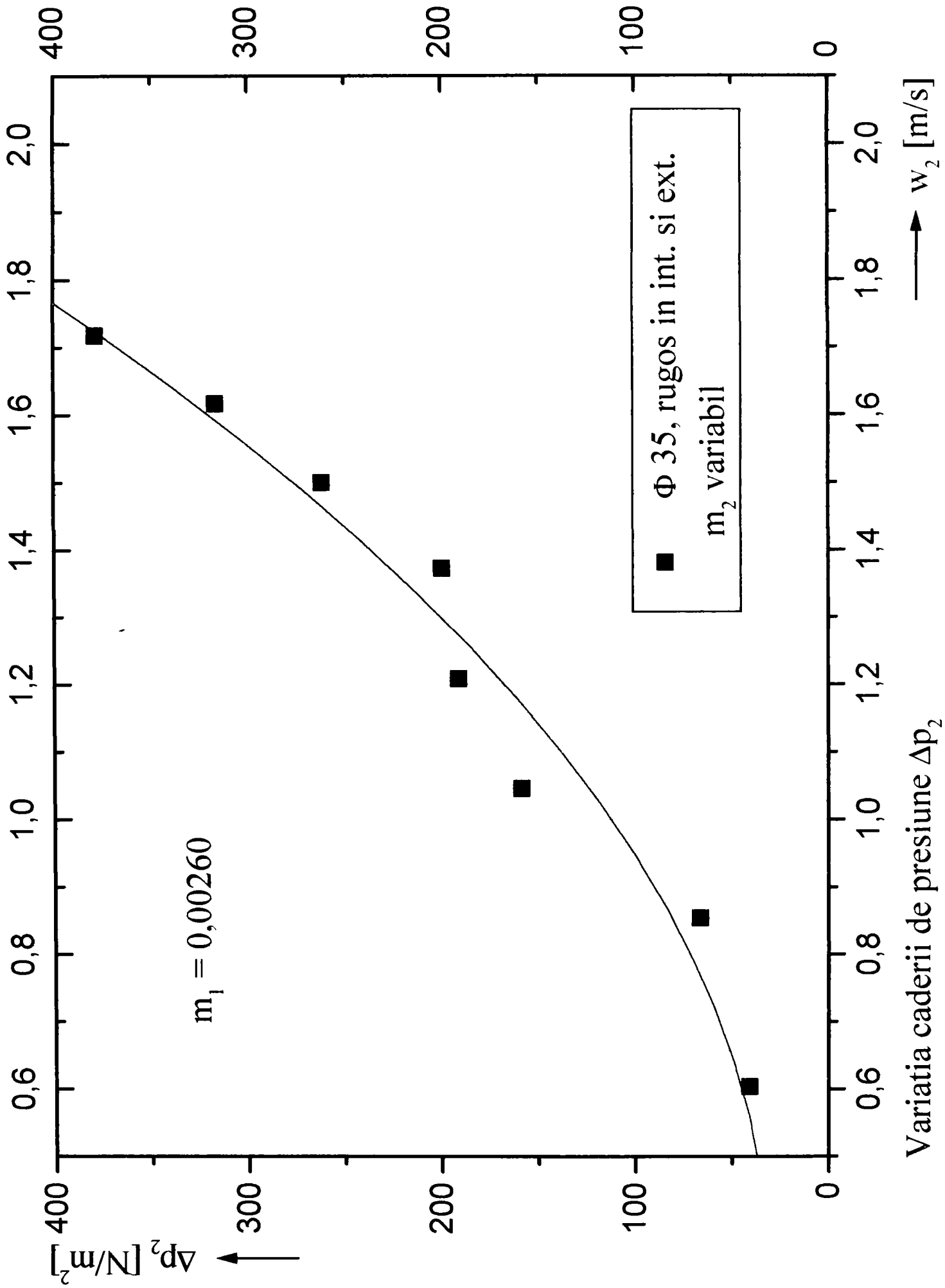
Variatia functiei Φ
in functie de criteriul χ



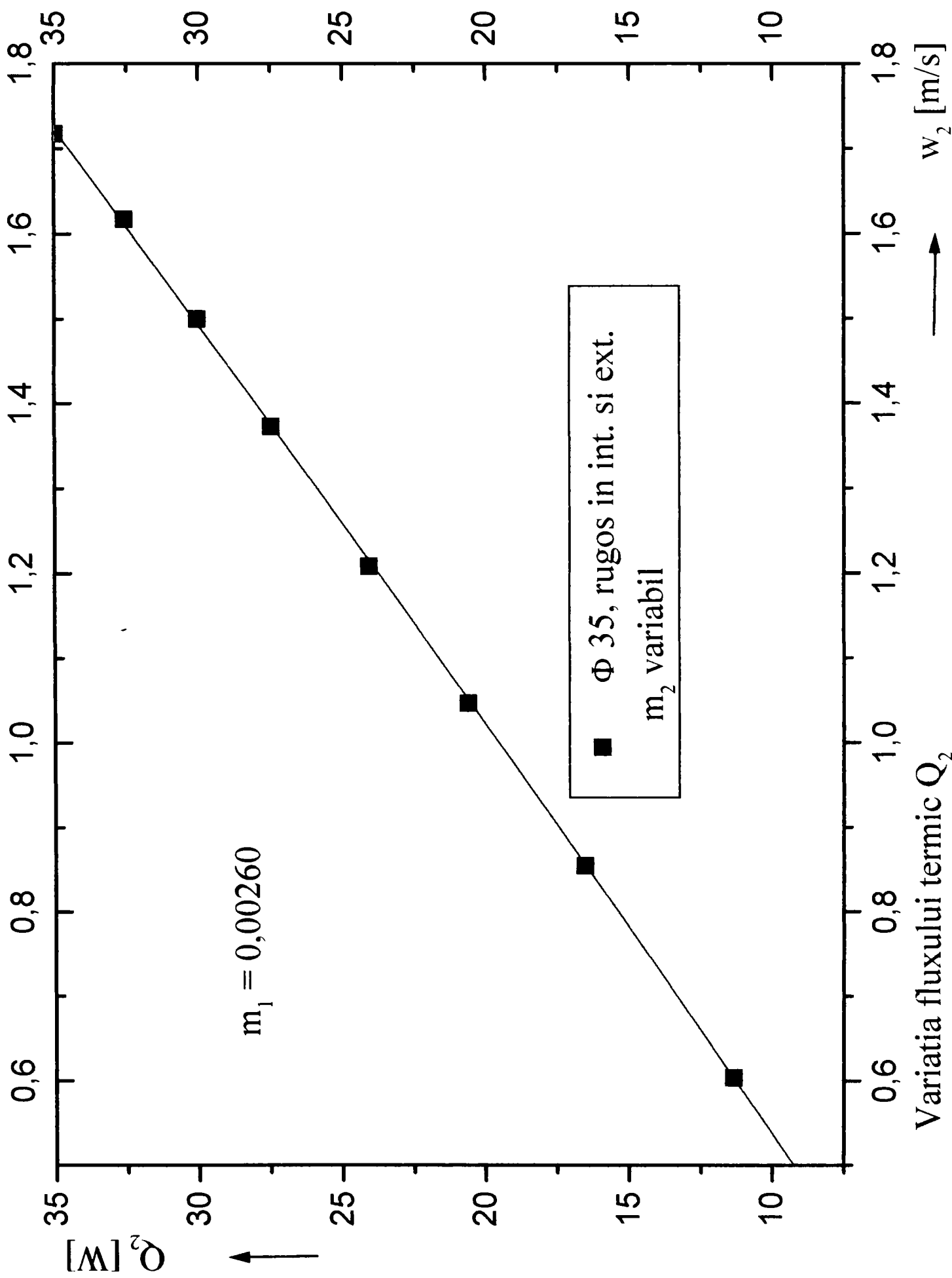
Variatia criteriului cf
in functie de viteza aerului w_2



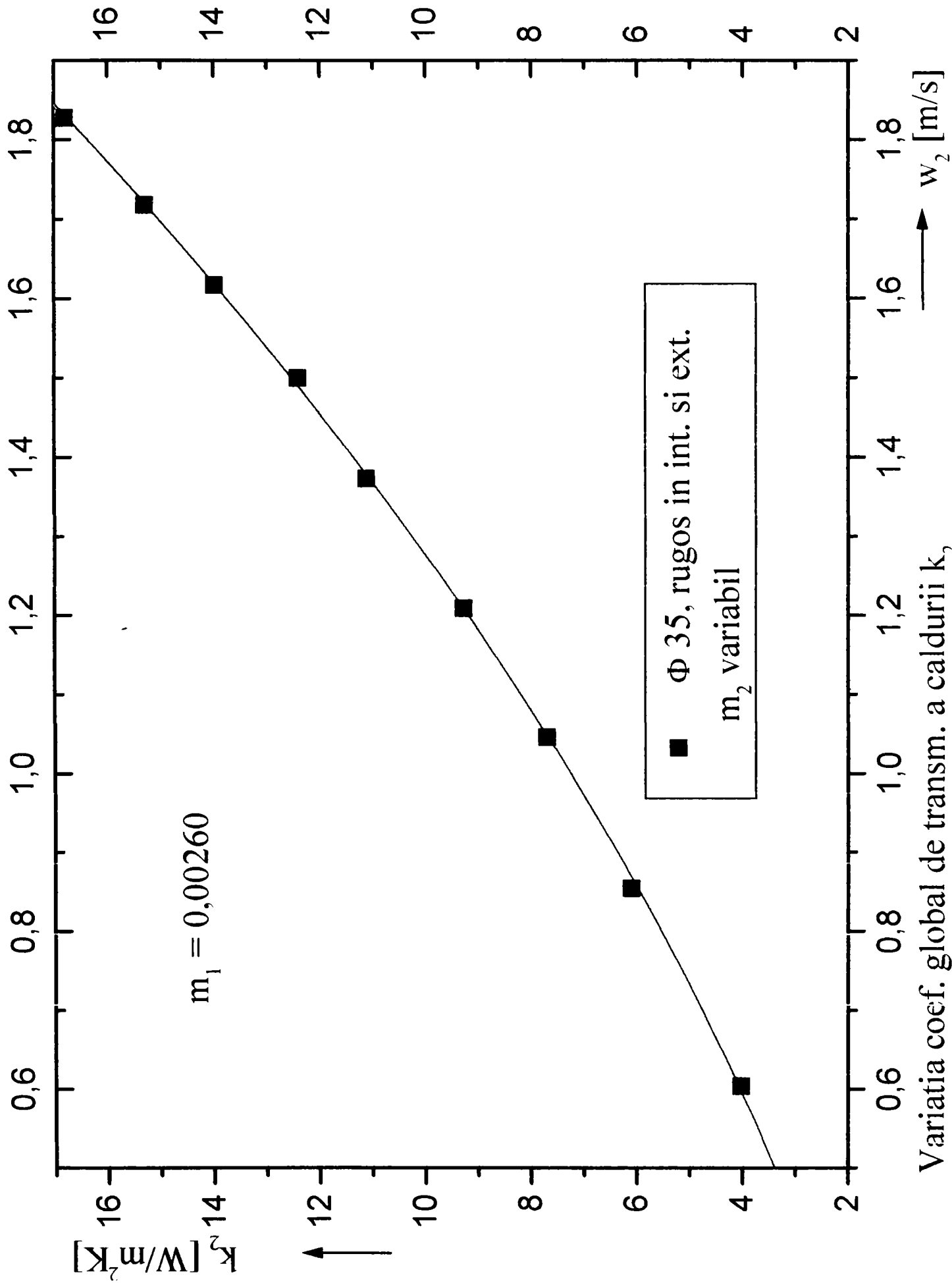
Variatia coef. de convecție α_2
 in functie de viteza aerului w_2



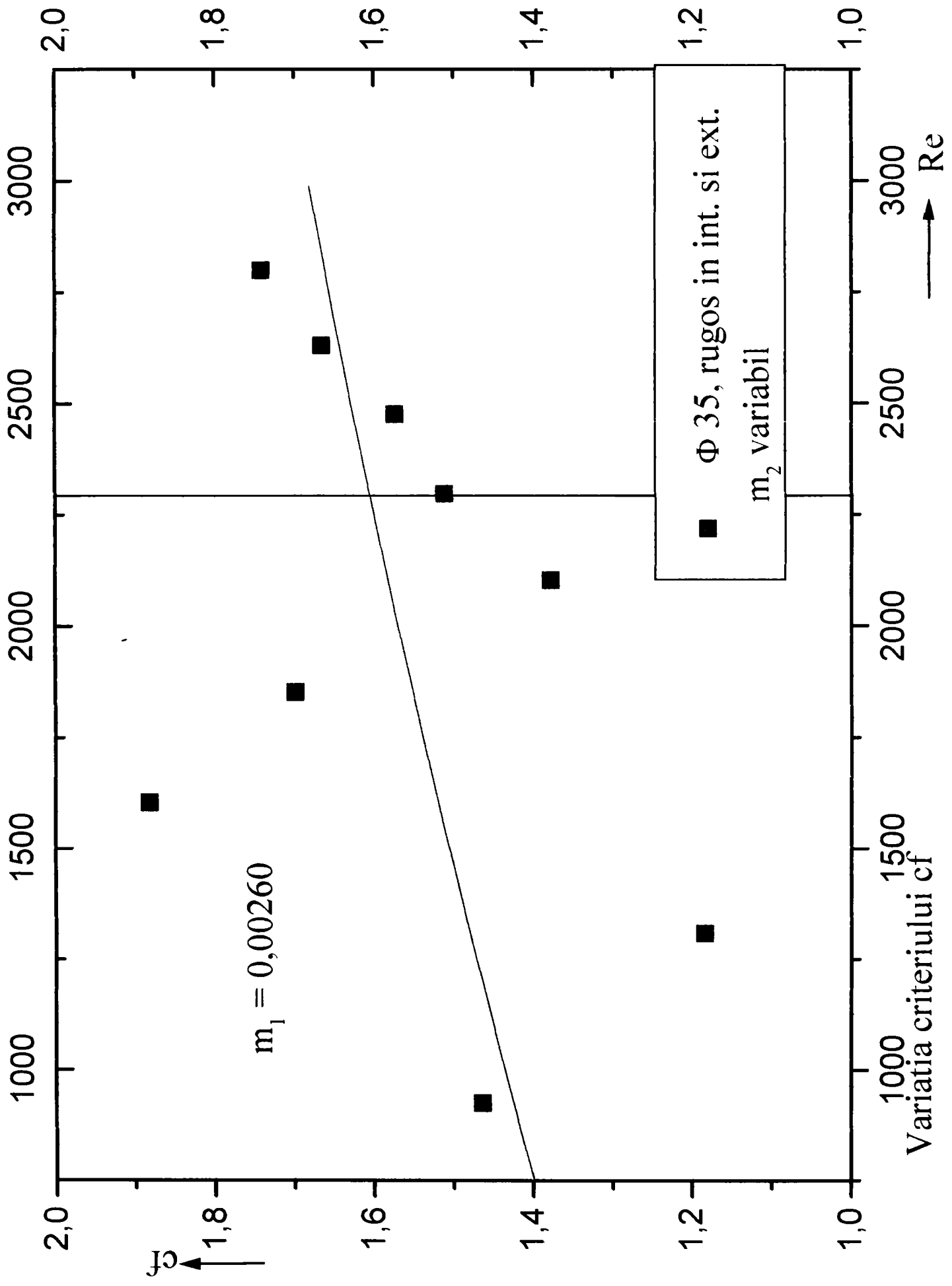
Variatia caderii de presiune Δp_2
 in functie de viteza aerului w_2



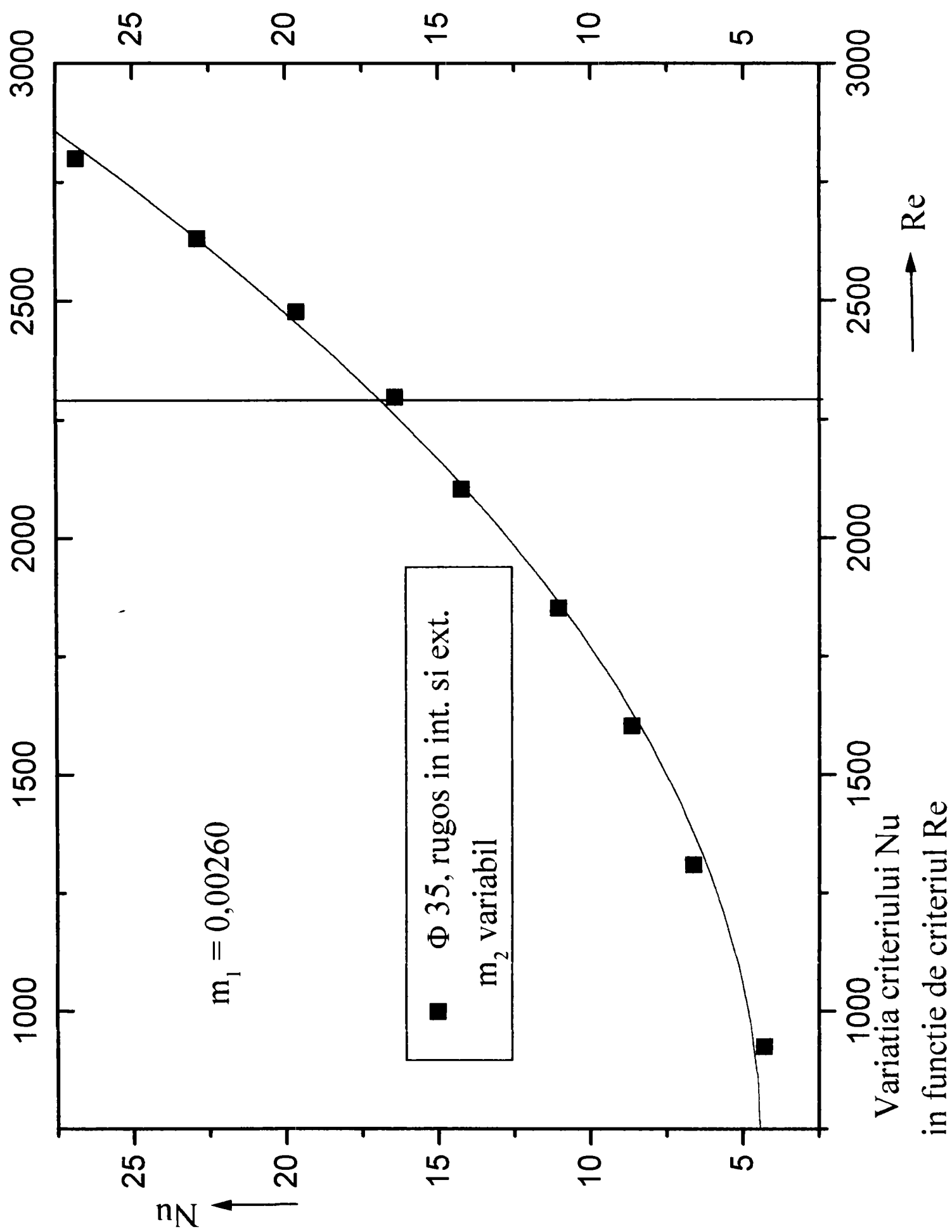
Variatia fluxului termic Q_2 in functie de viteza aerului w_2

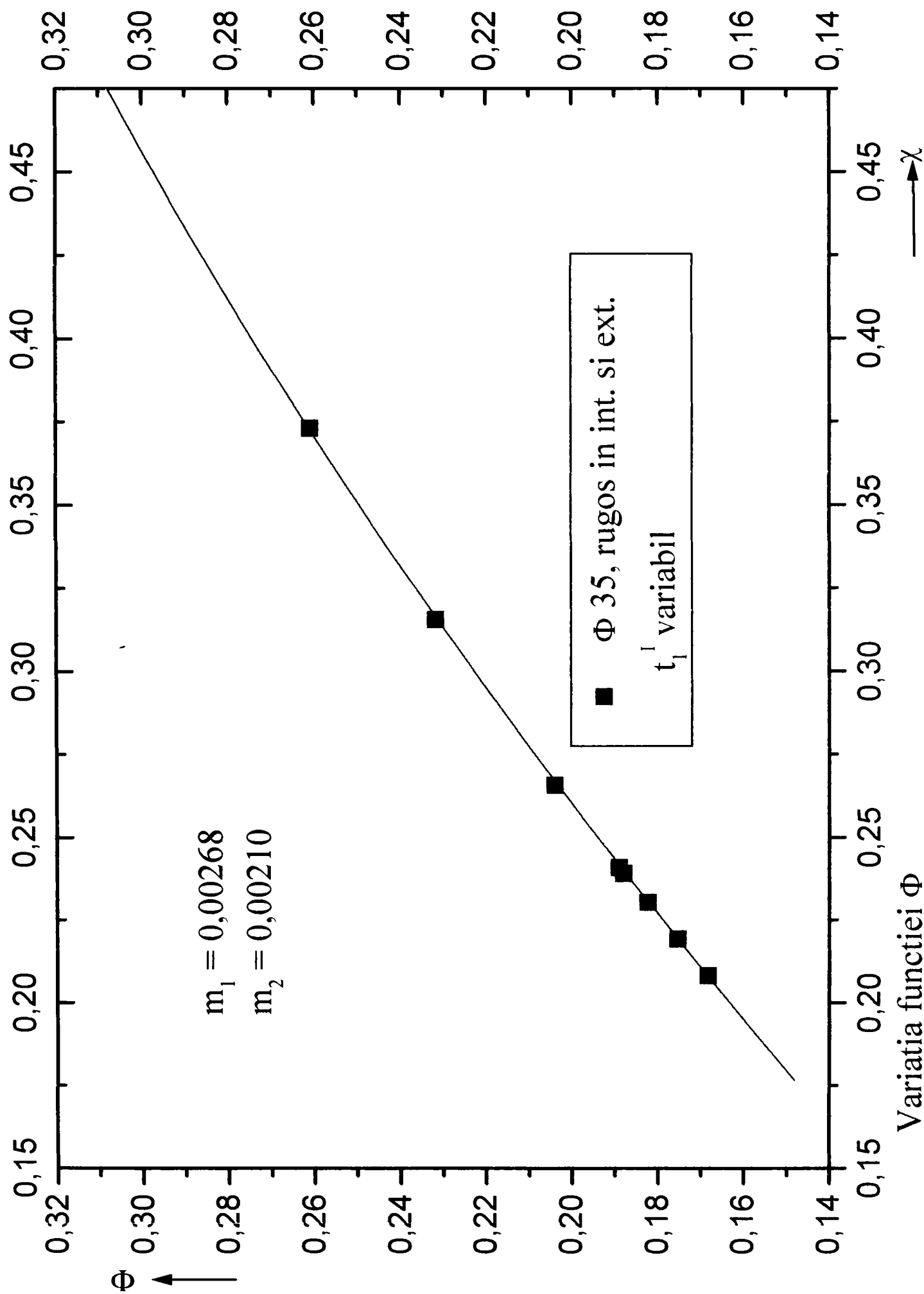


Variatia coef. global de transm. a caldurii k_2
 in functie de viteza aerului w_2

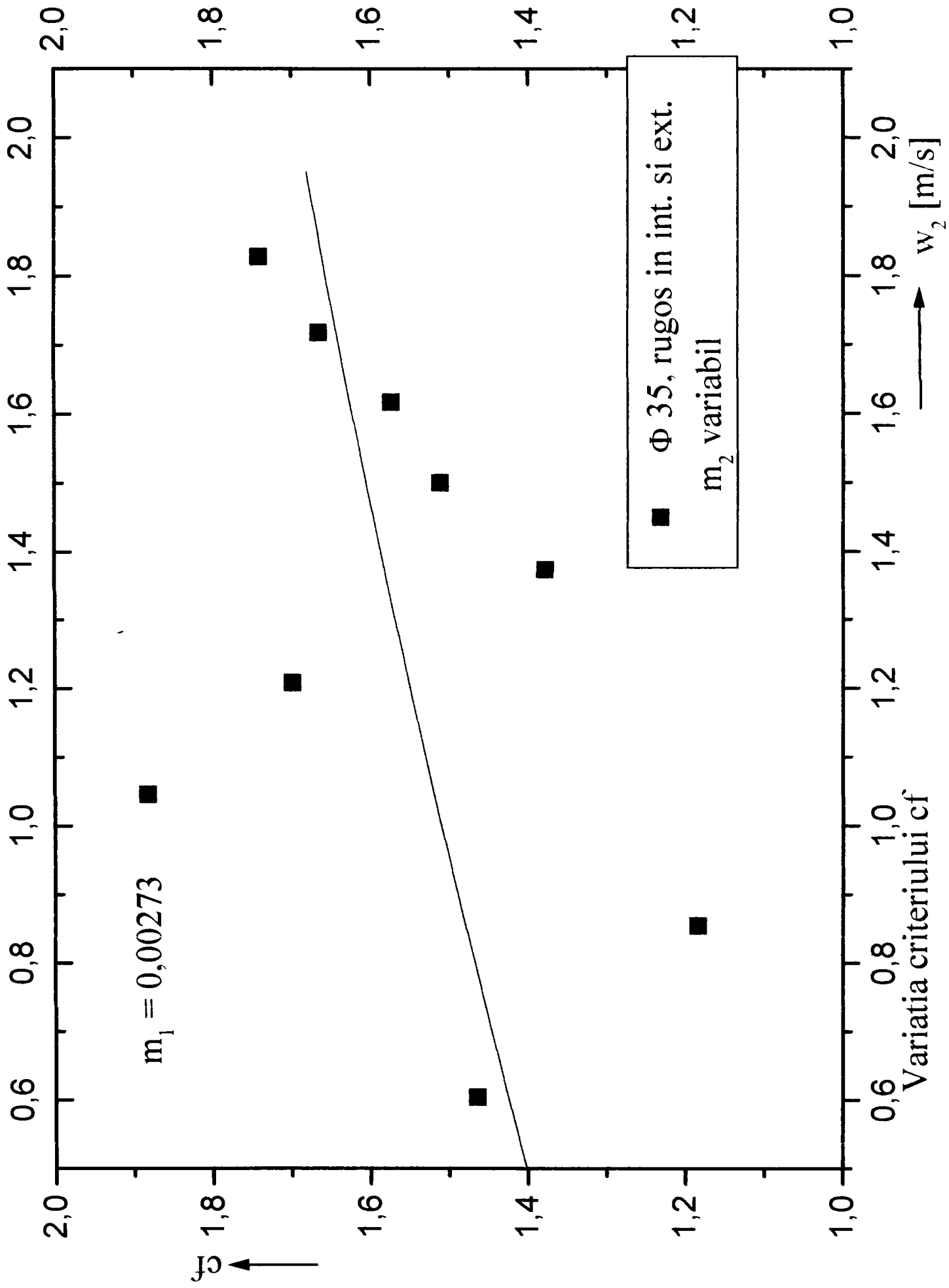


in functie de criteriul Re

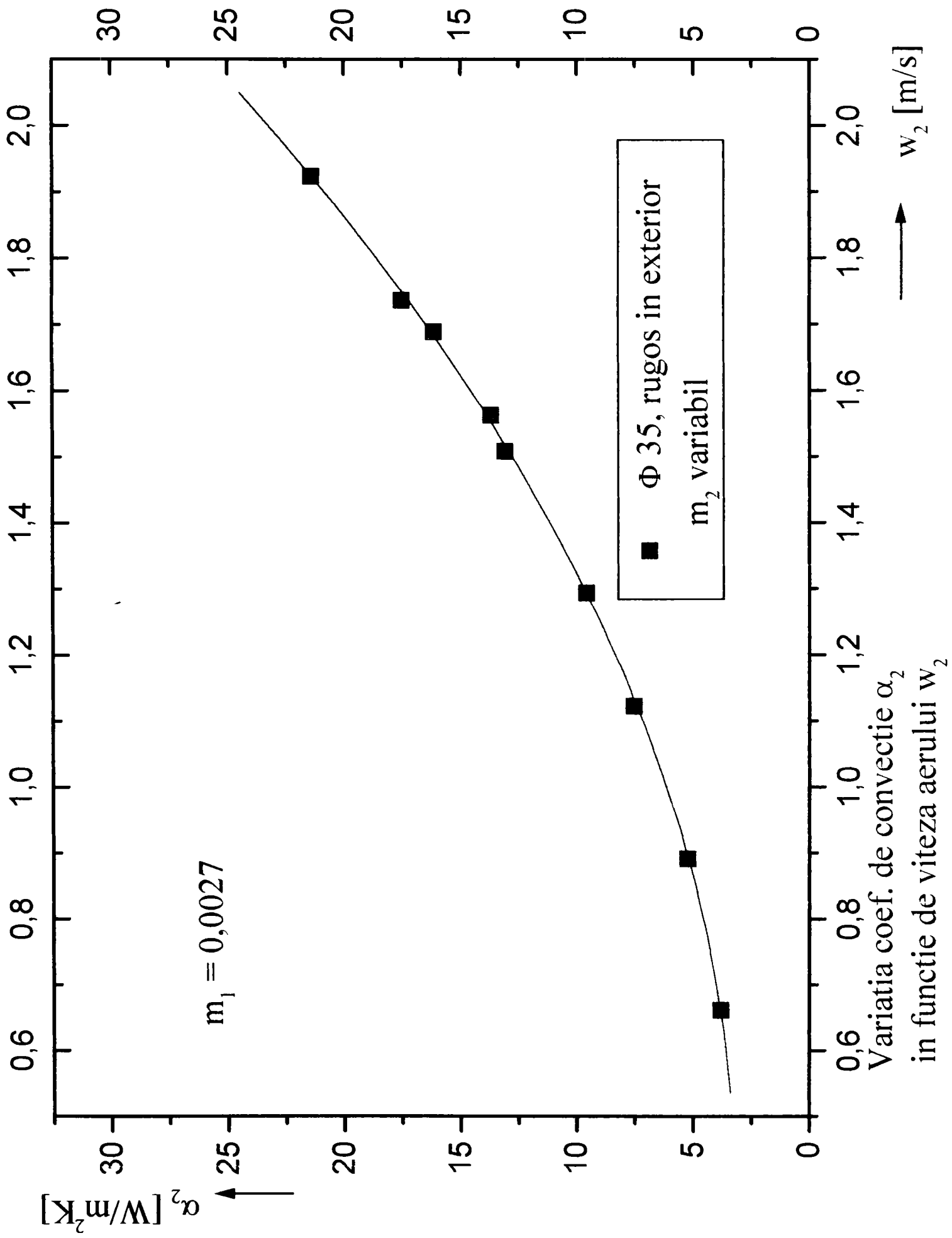


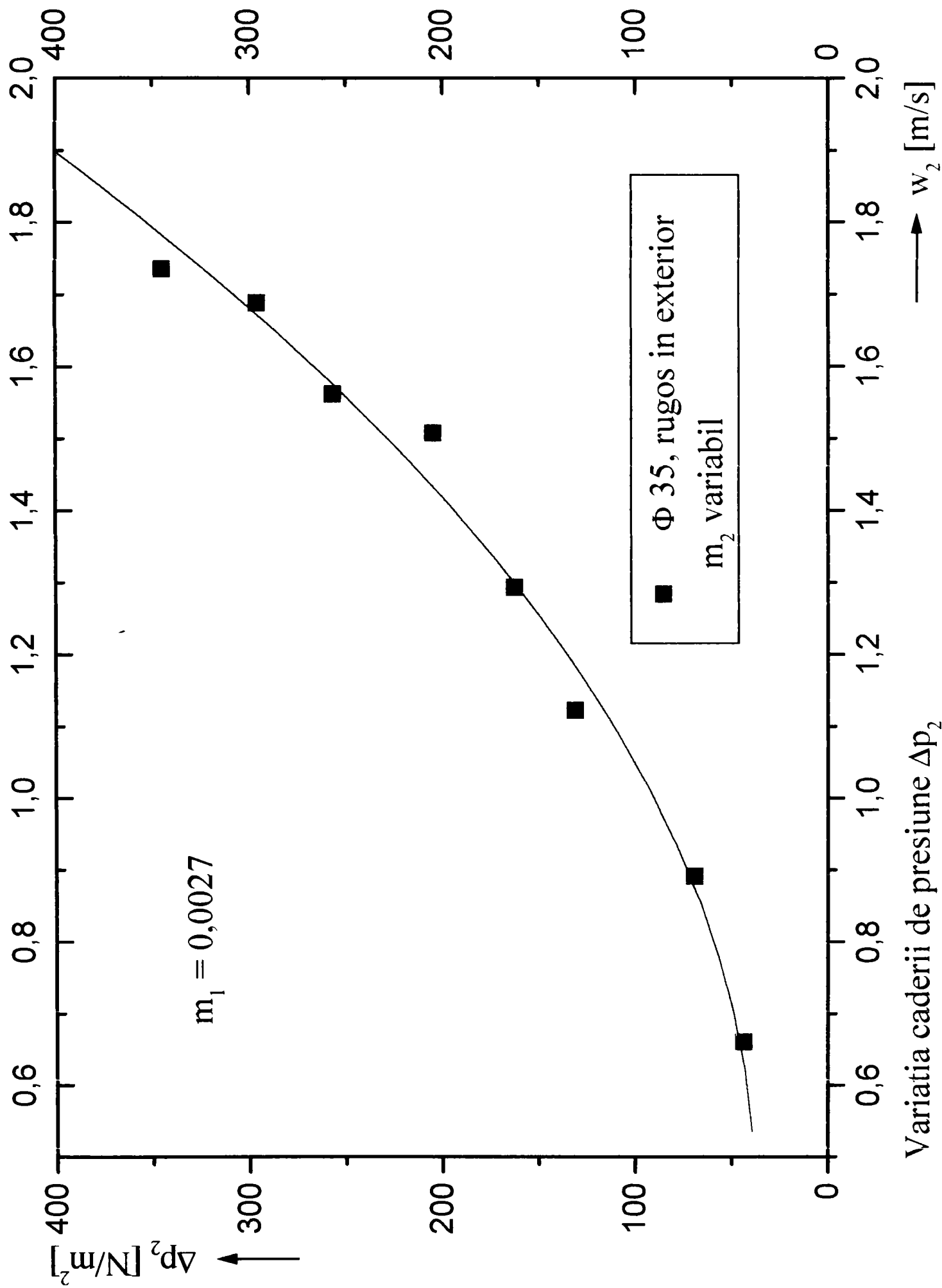


Variatia functiei Φ
in functie de criteriul χ

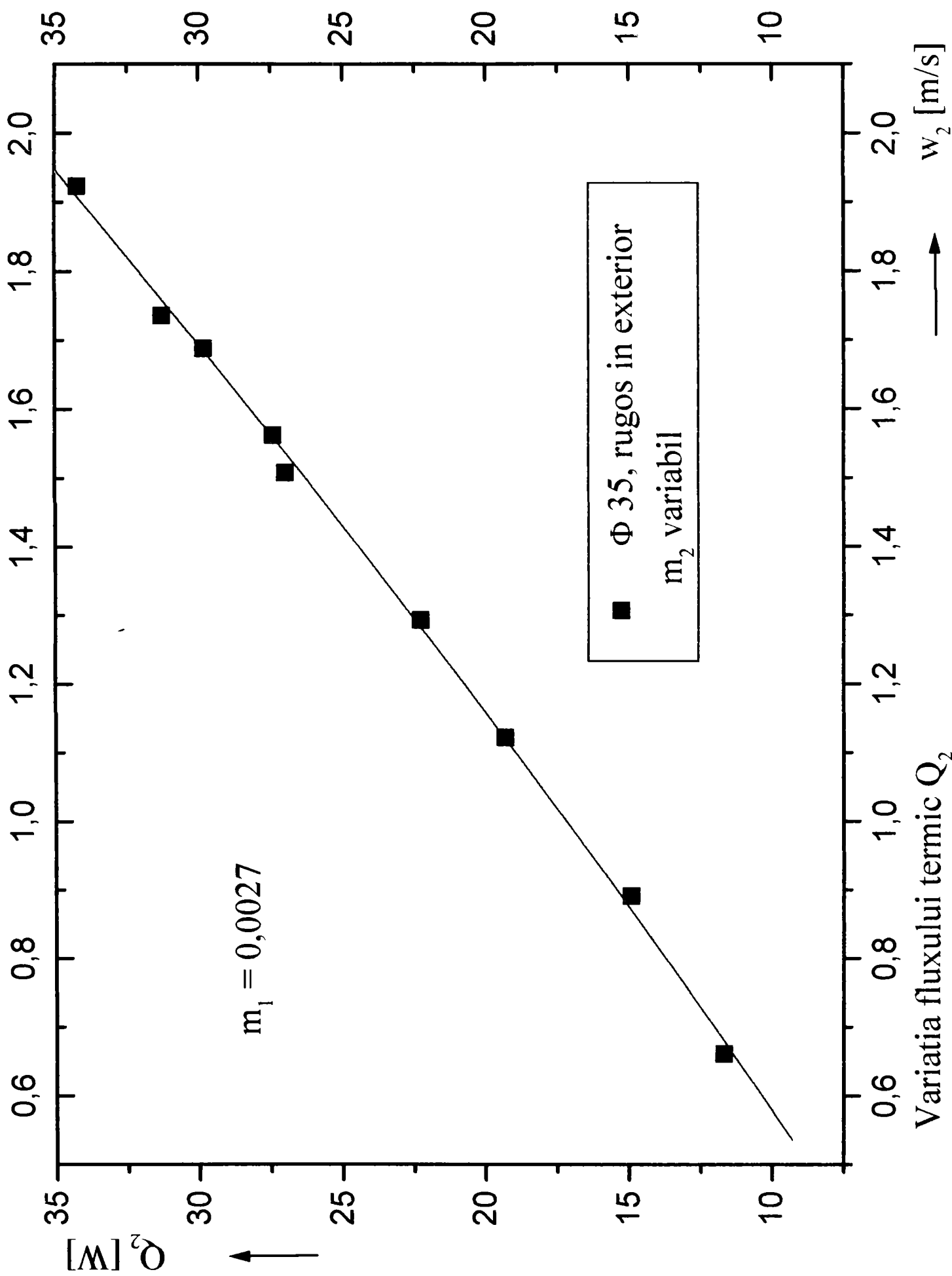


in functie de viteza aerului w_2

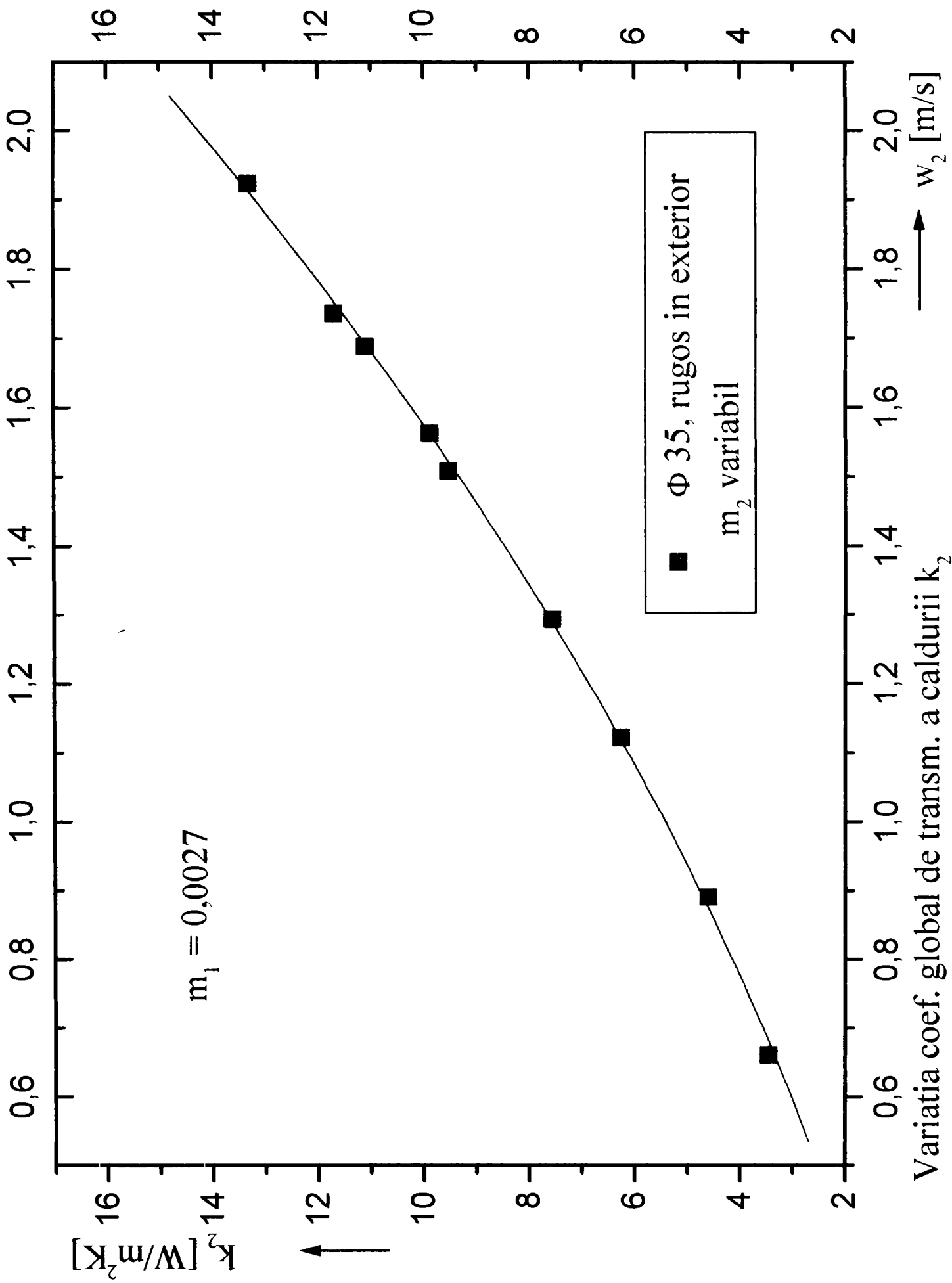




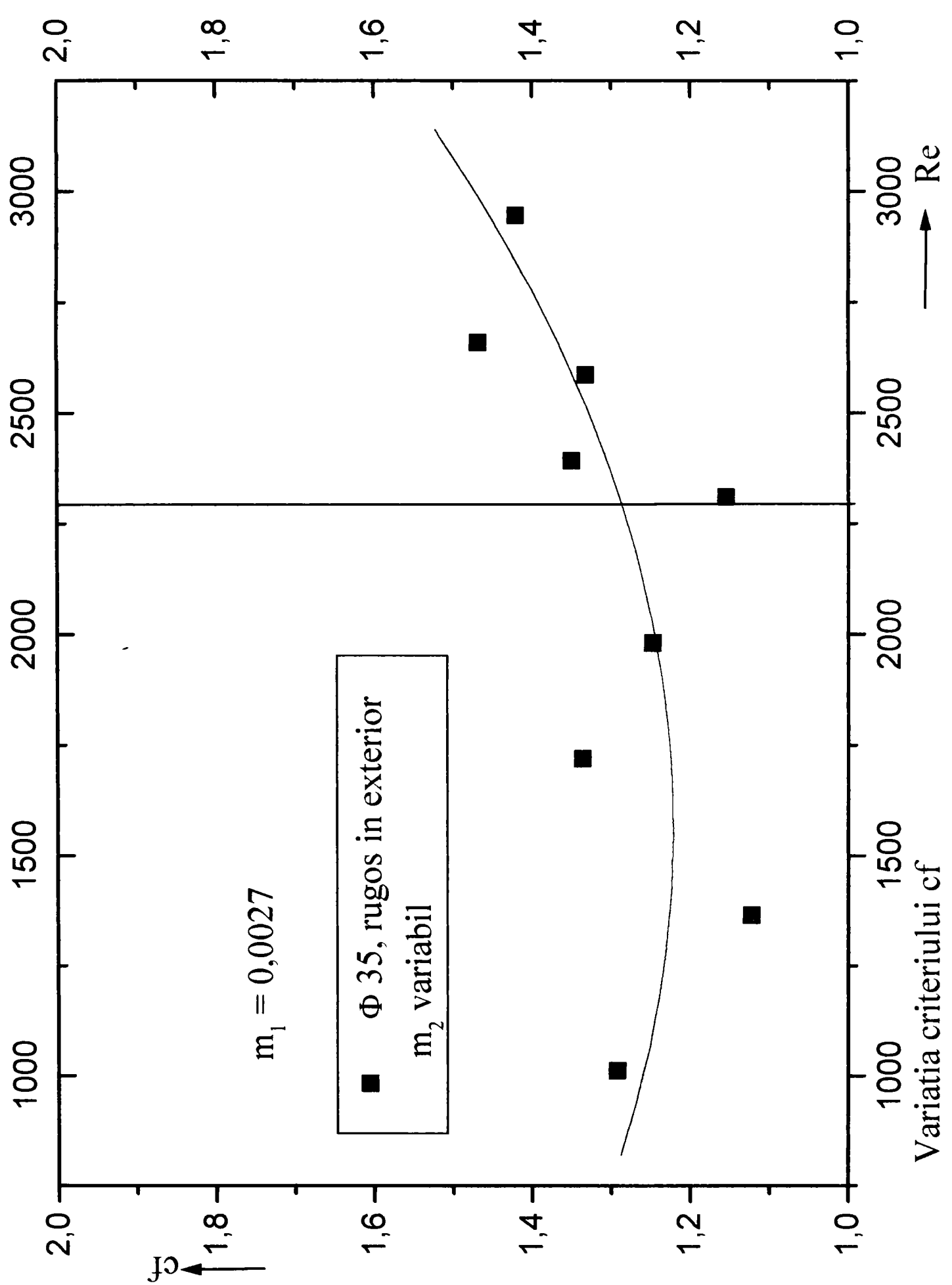
Variatia caderii de presiune Δp_2
in functie de viteza aerului w_2

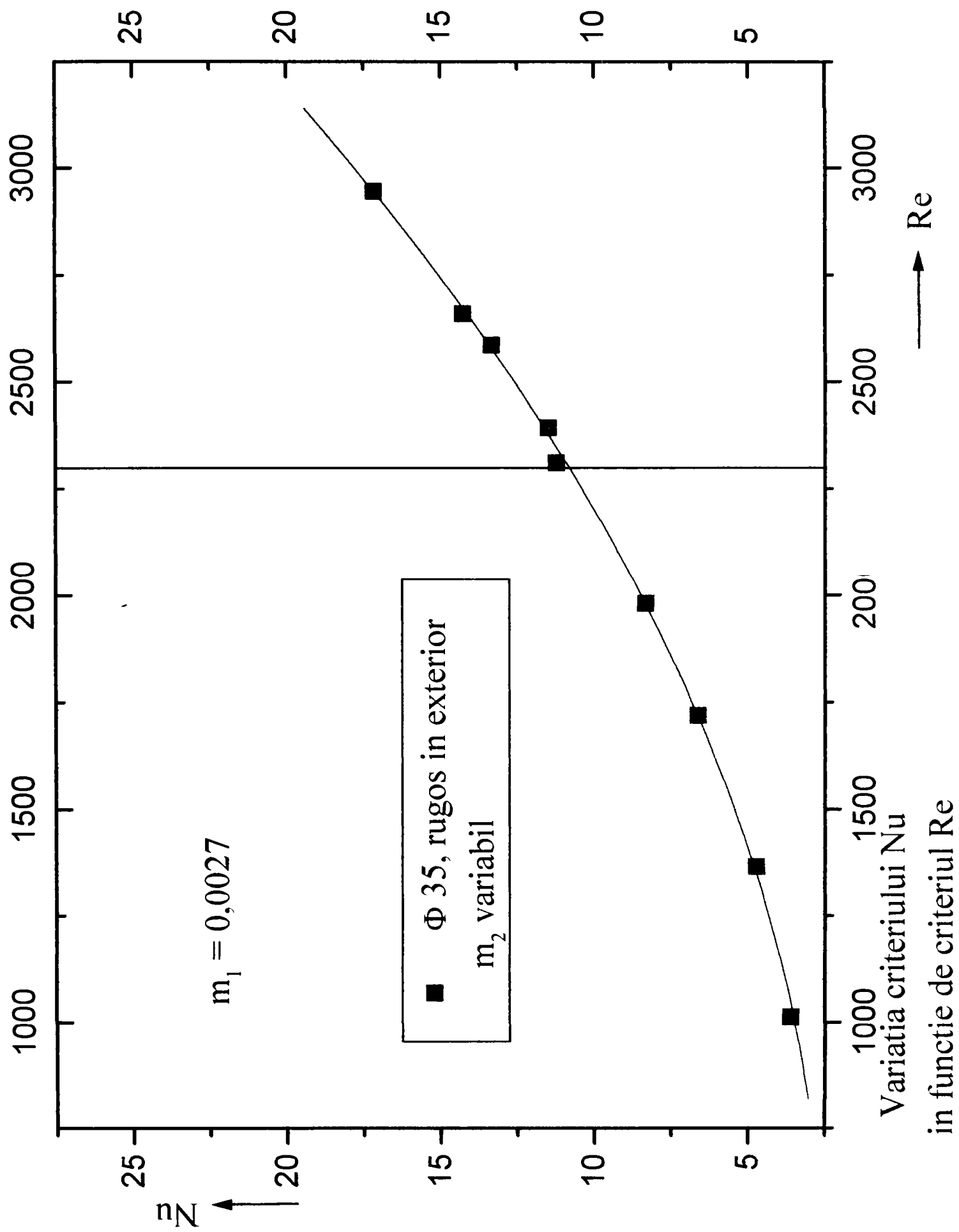


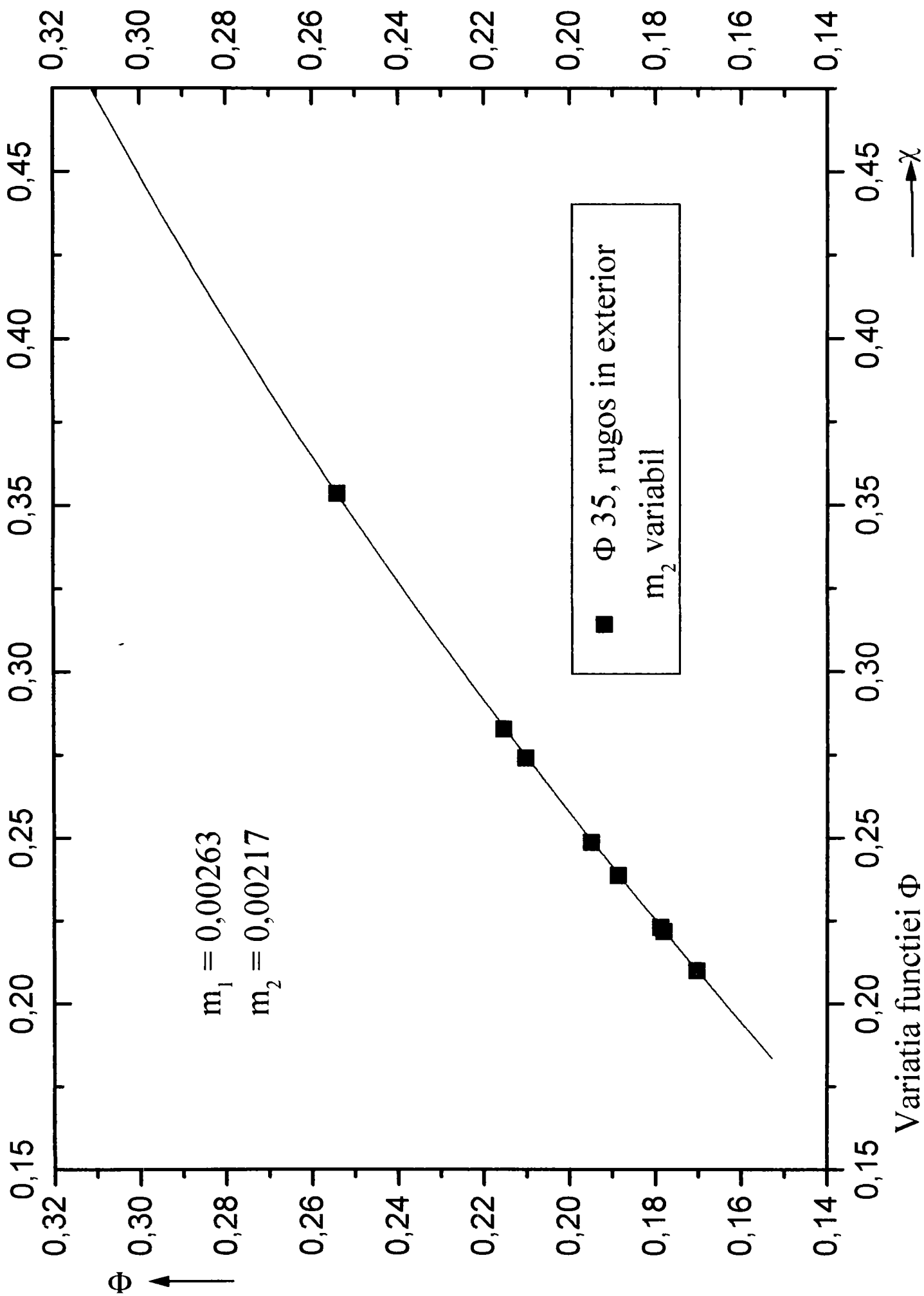
Variatia fluxului termic Q_2
in functie de viteza aerului w_2



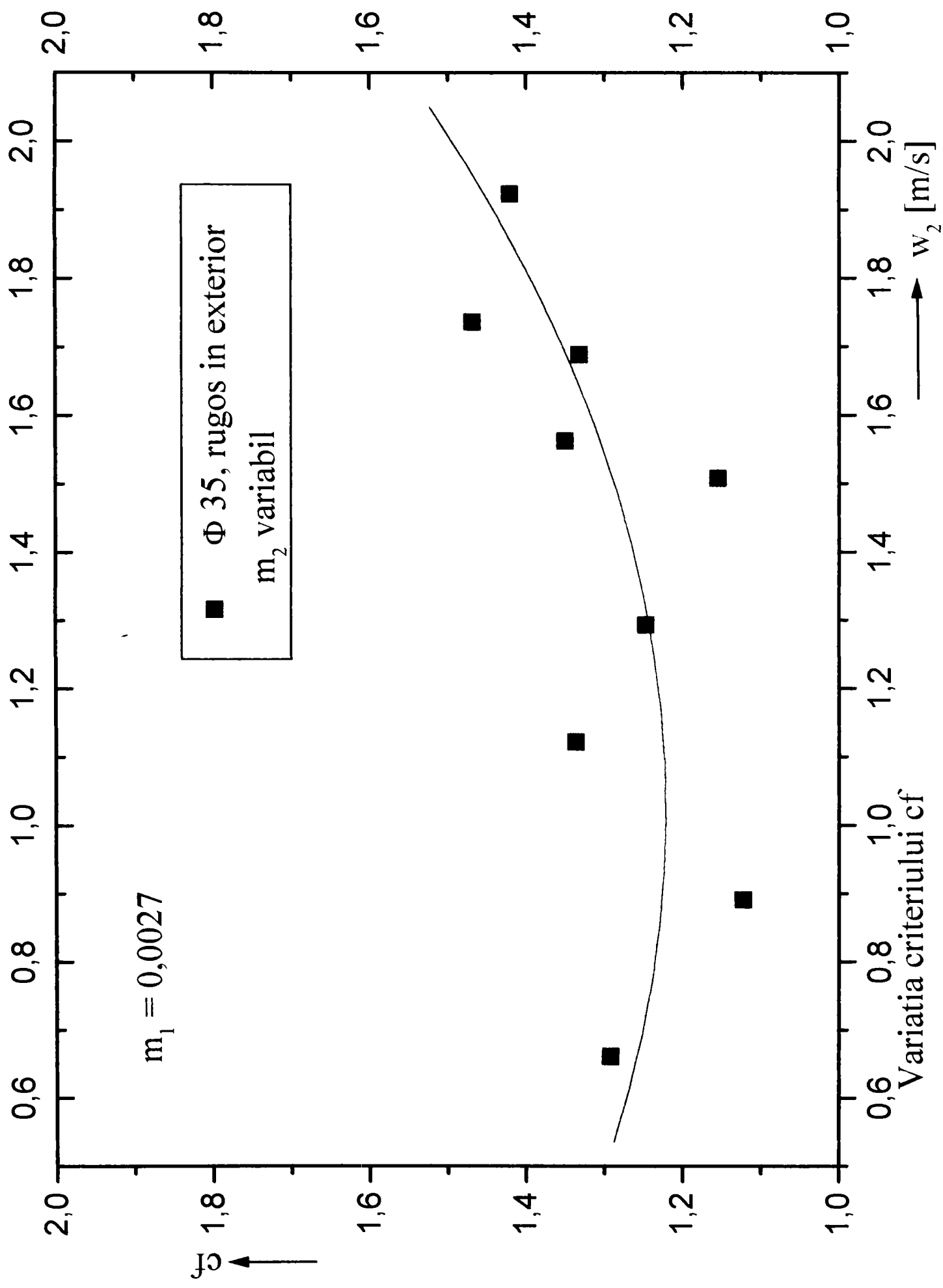
Variatia coef. global de transm. a caldurii k_2
in functie de viteza aerului w_2



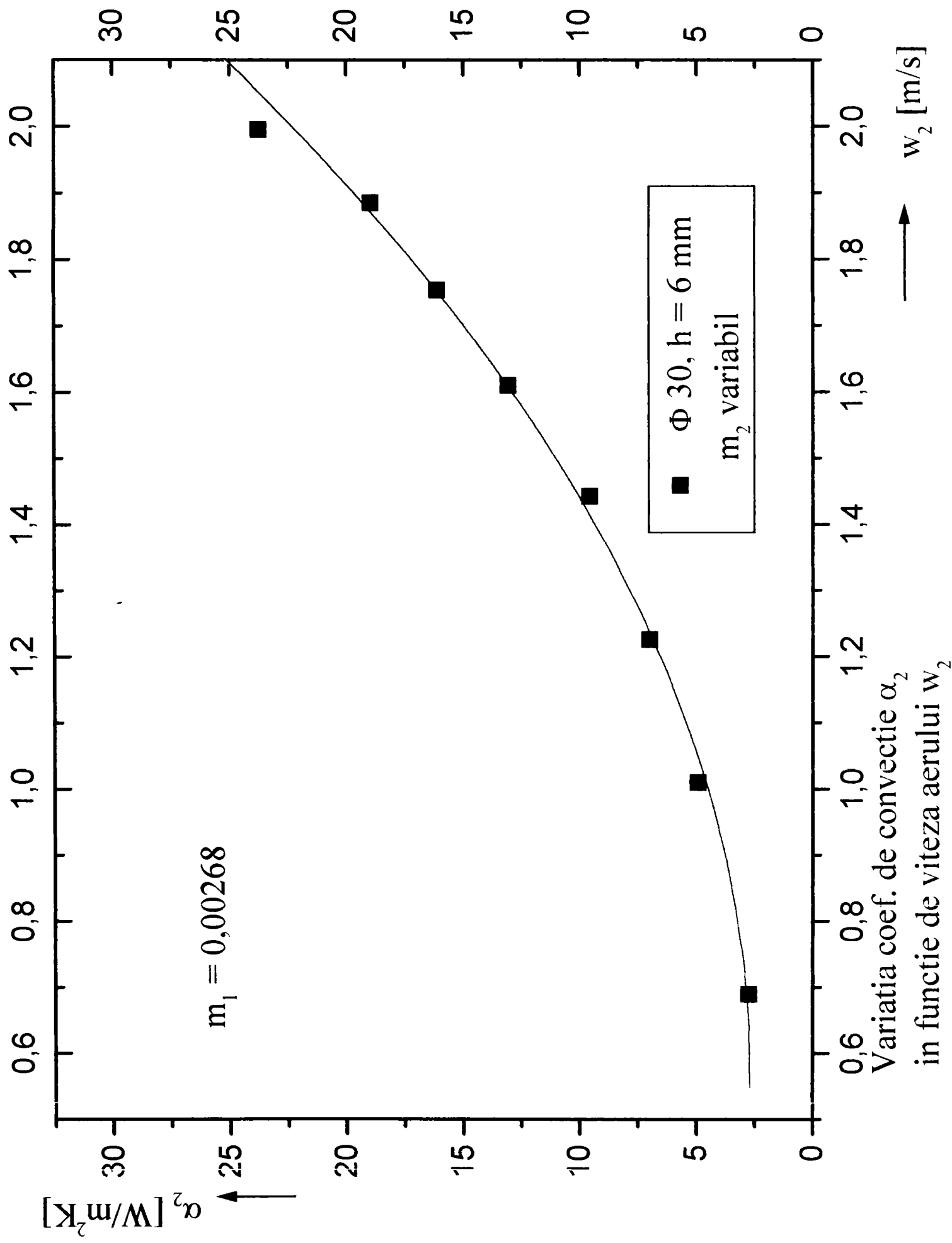


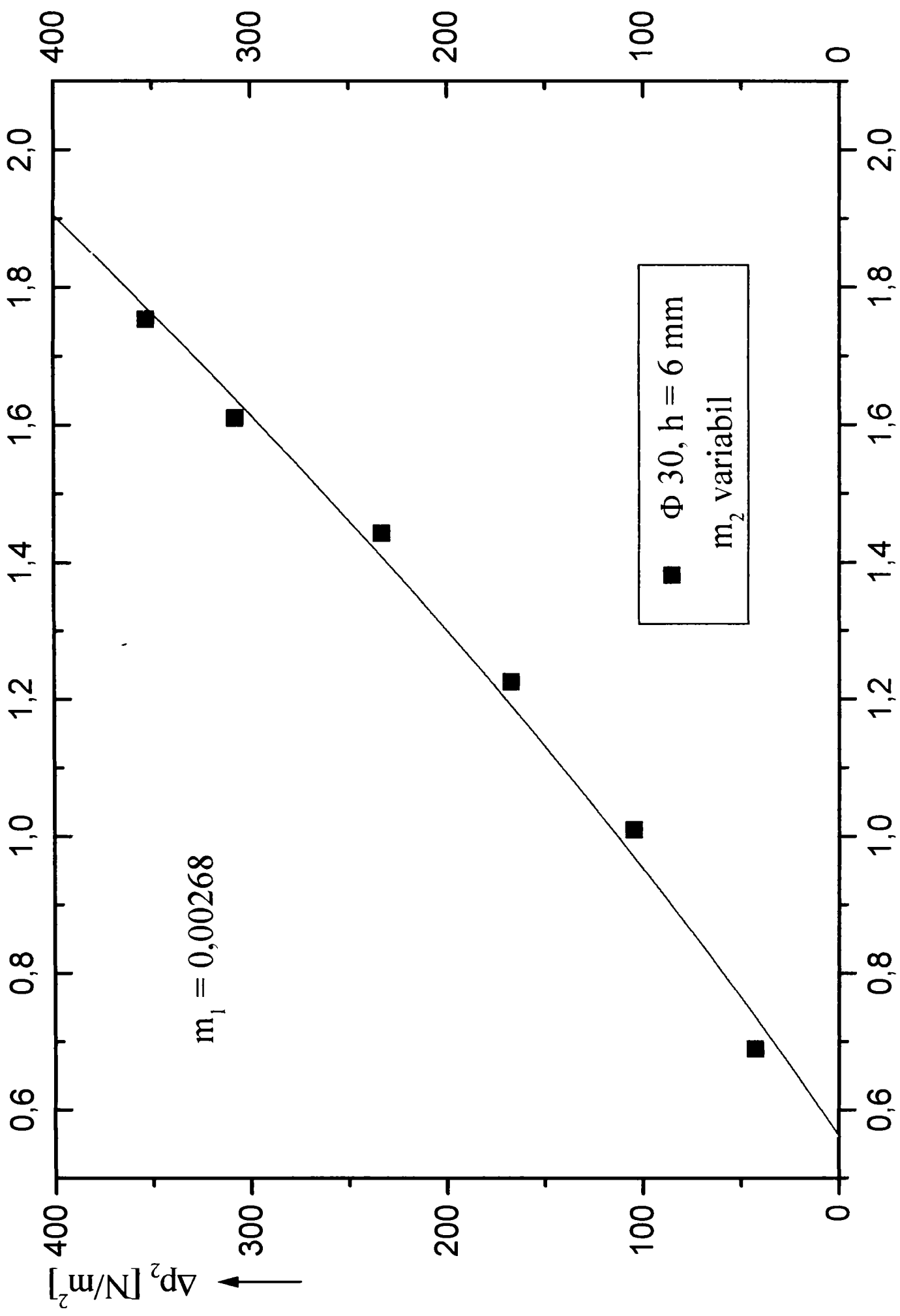


Variatia functiei Φ
in functie de criteriul χ



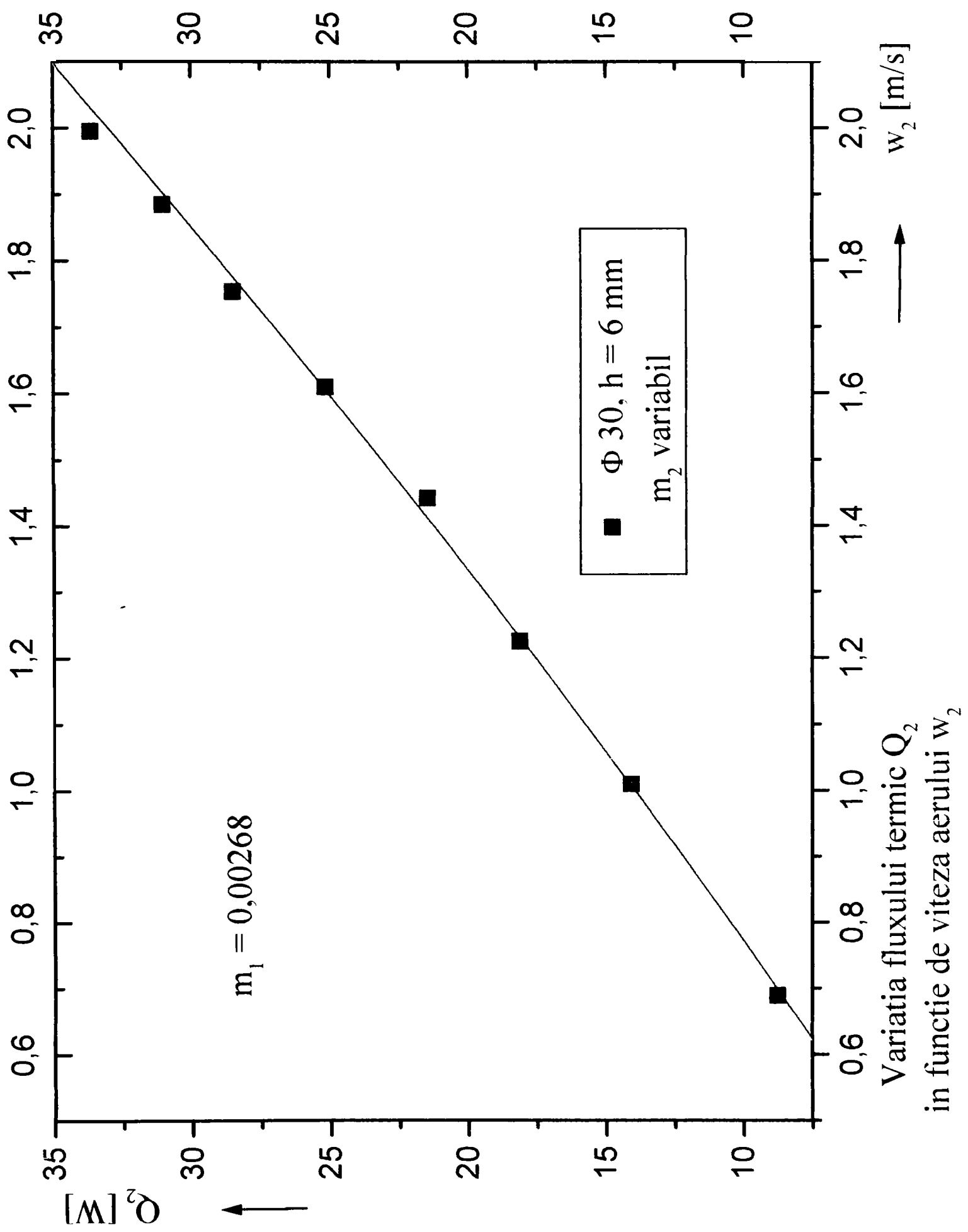
Variatia criteriului cf
 in functie de viteza aerului w_2

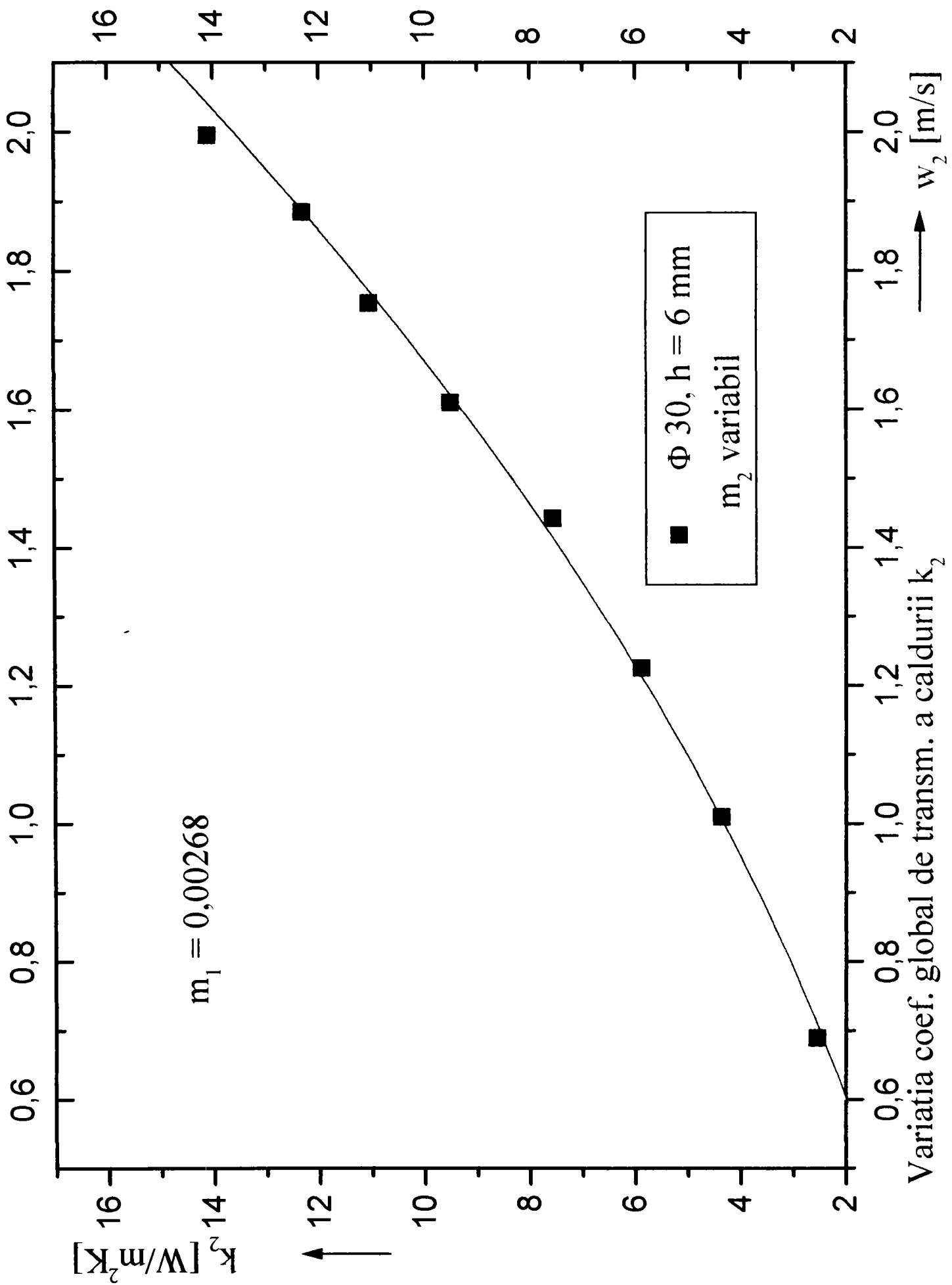




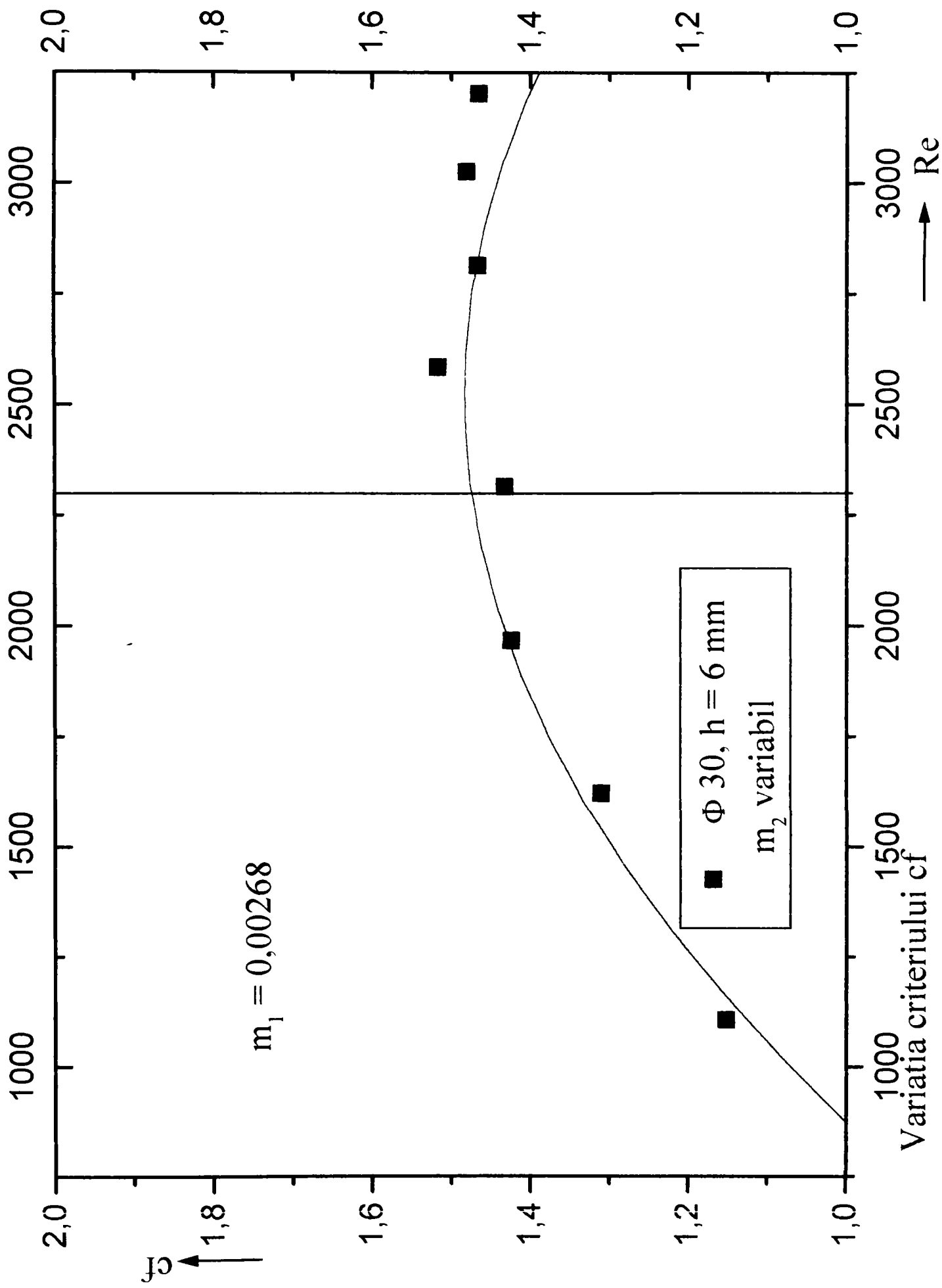
Variatia caderii de presiune Δp_2
 in functie de viteza aerului w_2

→ w_2 [m/s]

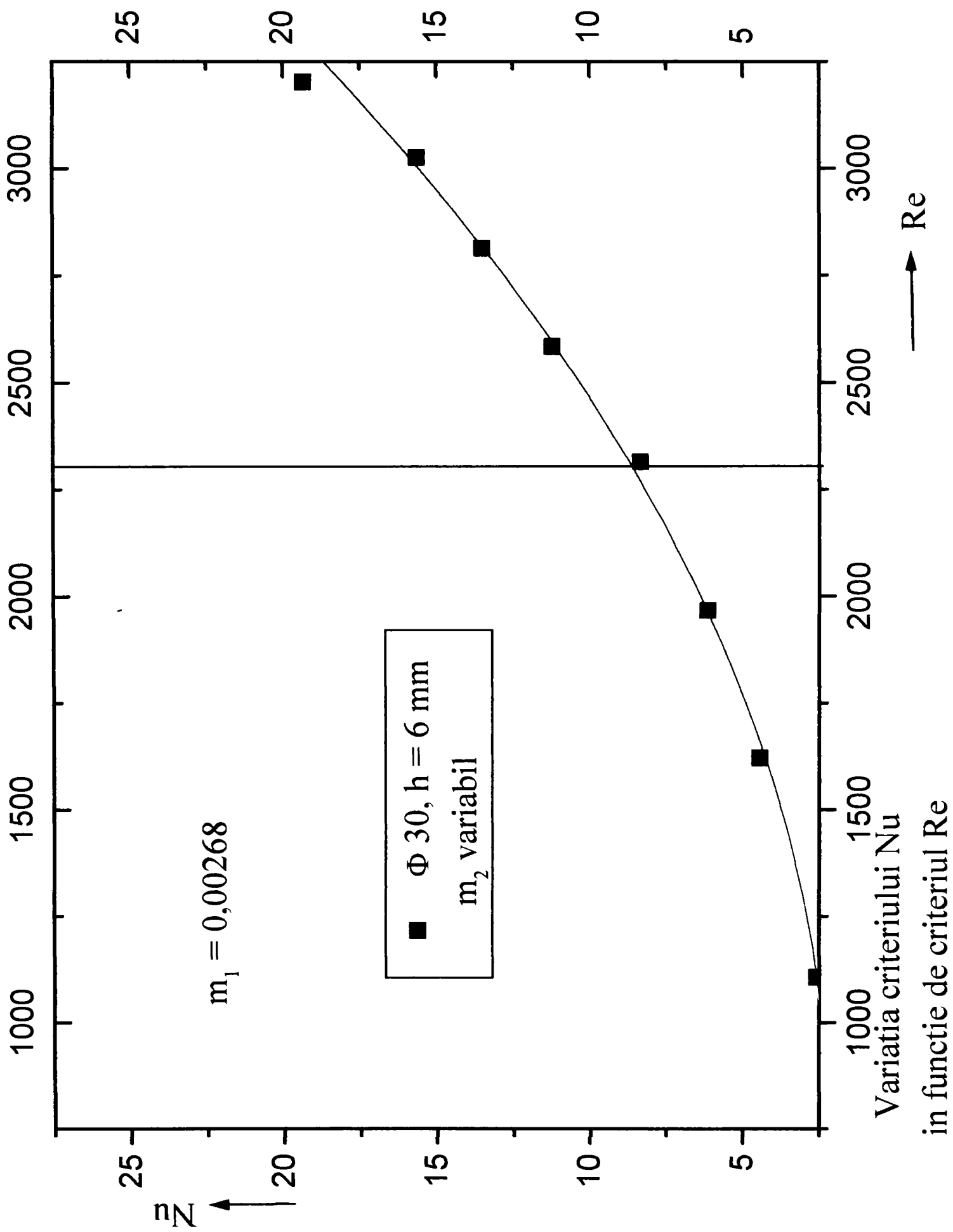


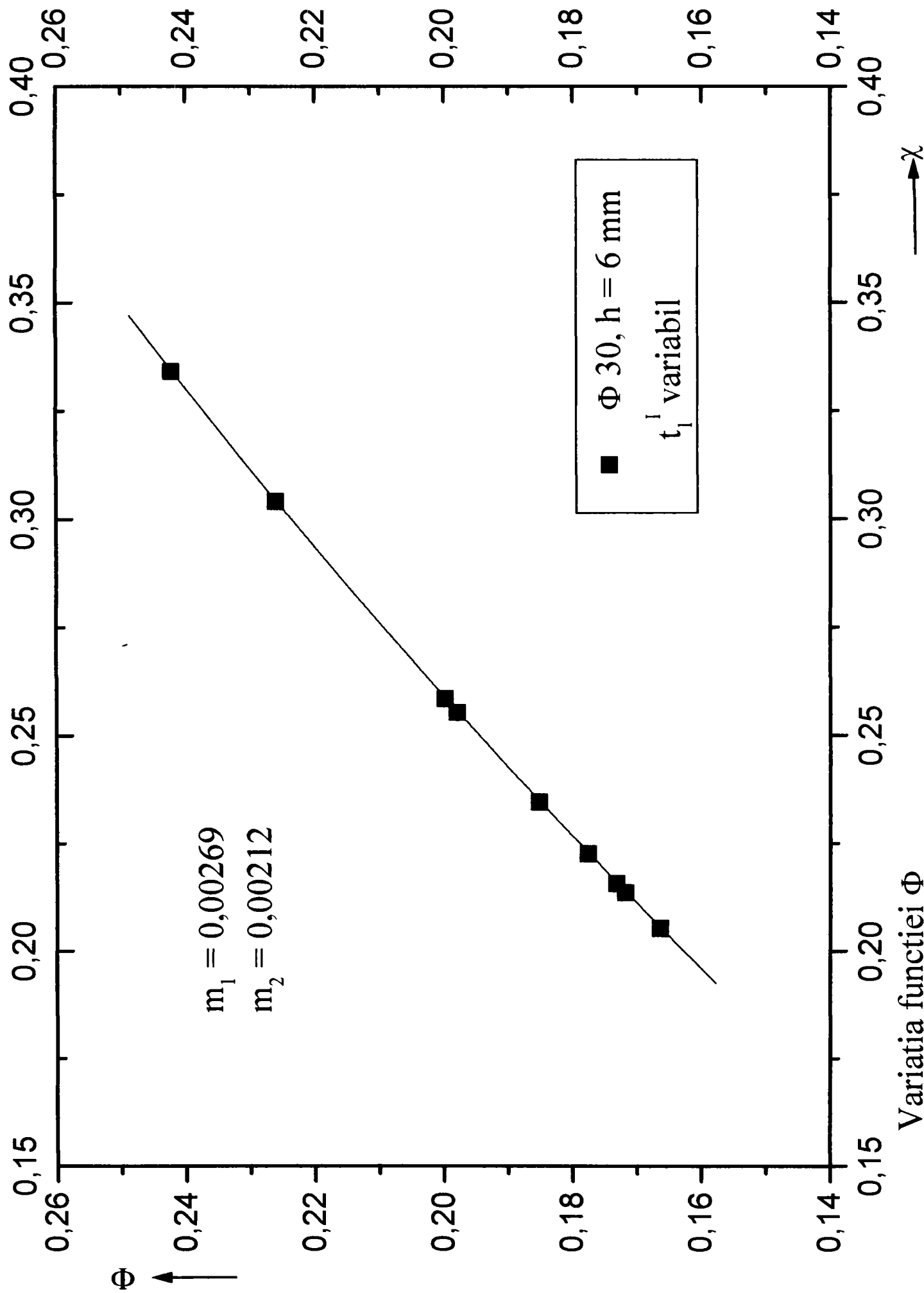


Variatia coef. global de transm. a caldurii k_2
 in functie de viteza aerului w_2

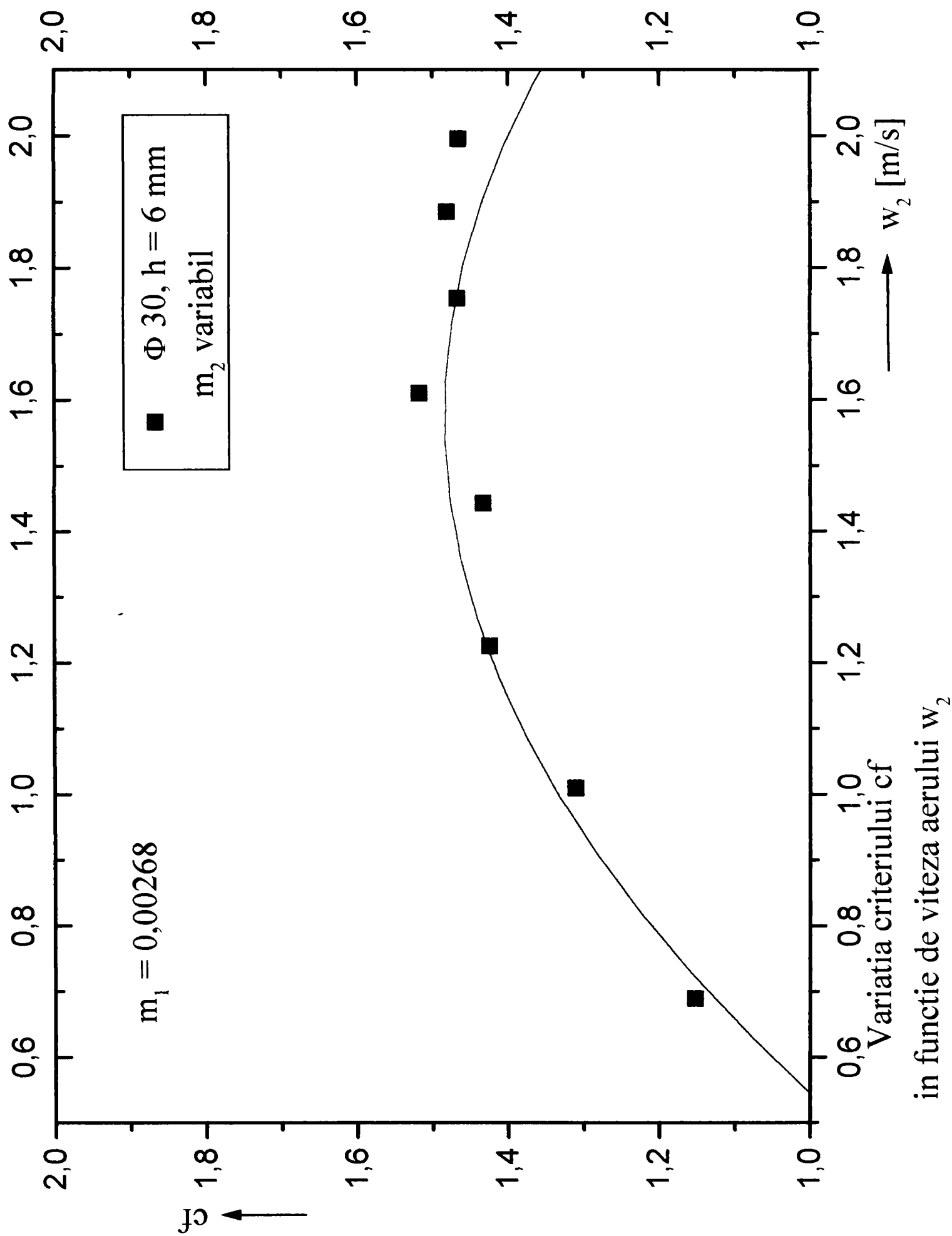


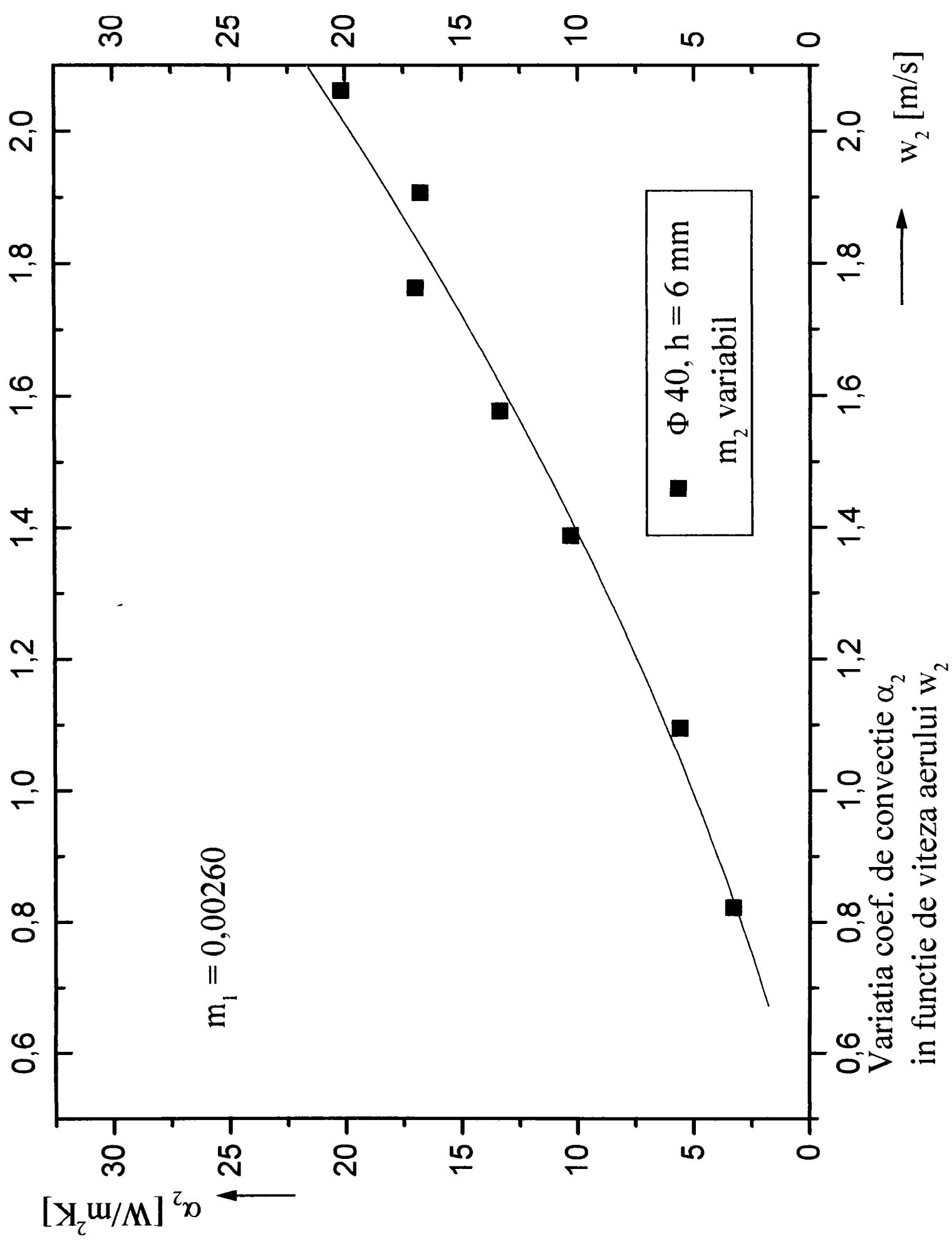
Variatia criteriului cf
in functie de criteriul Re

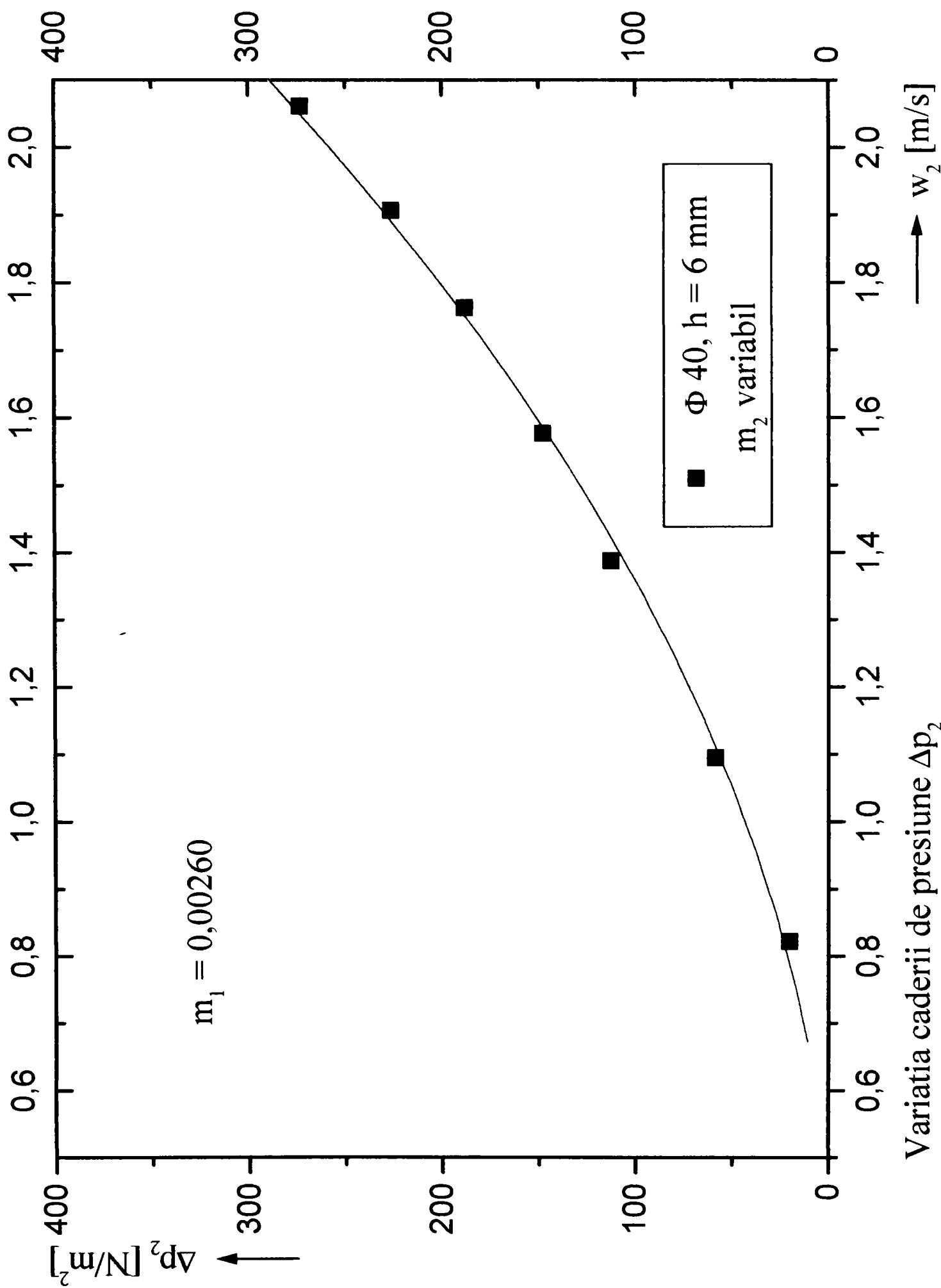




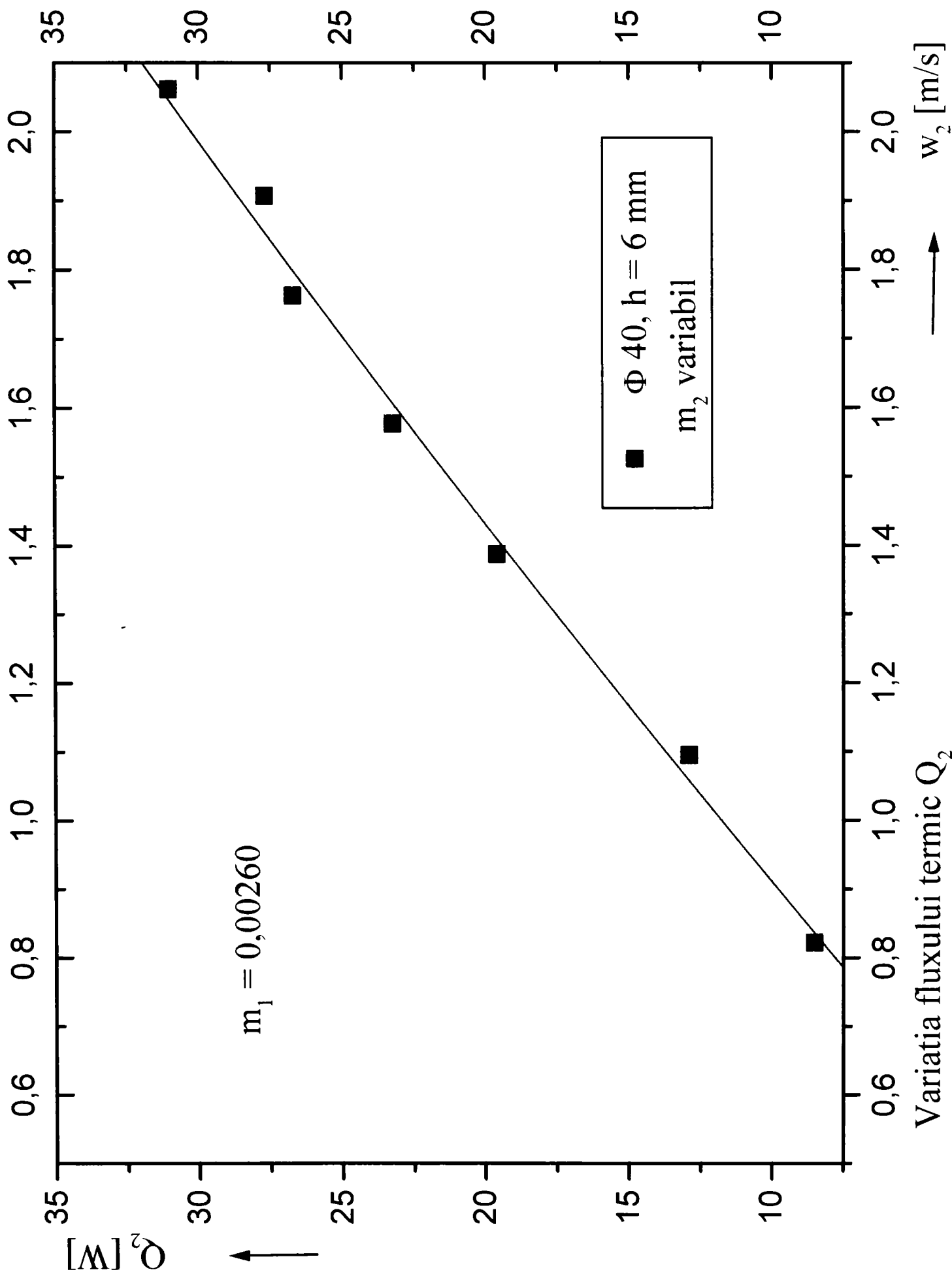
Variatia functiei Φ
in functie de criteriul χ



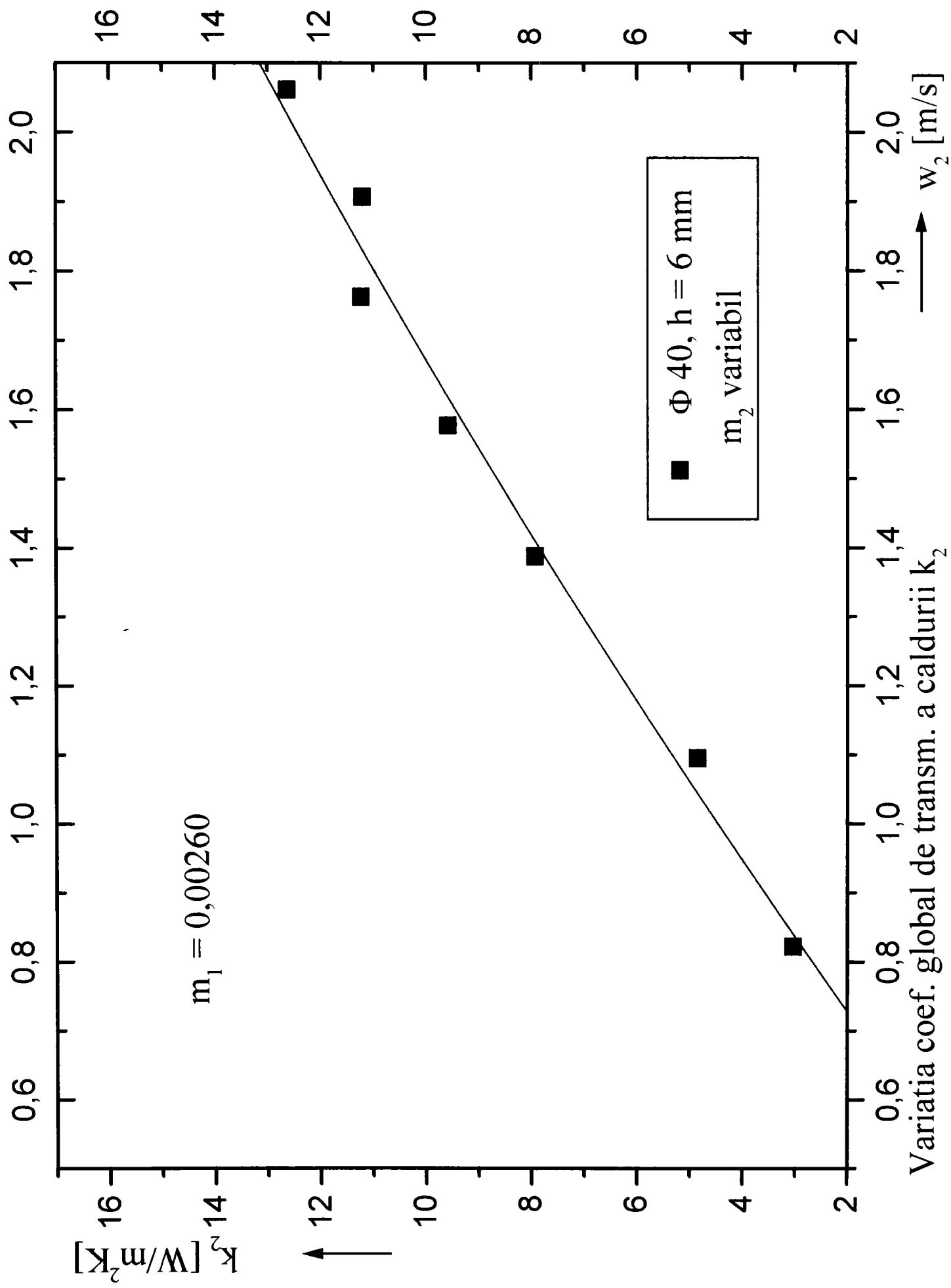




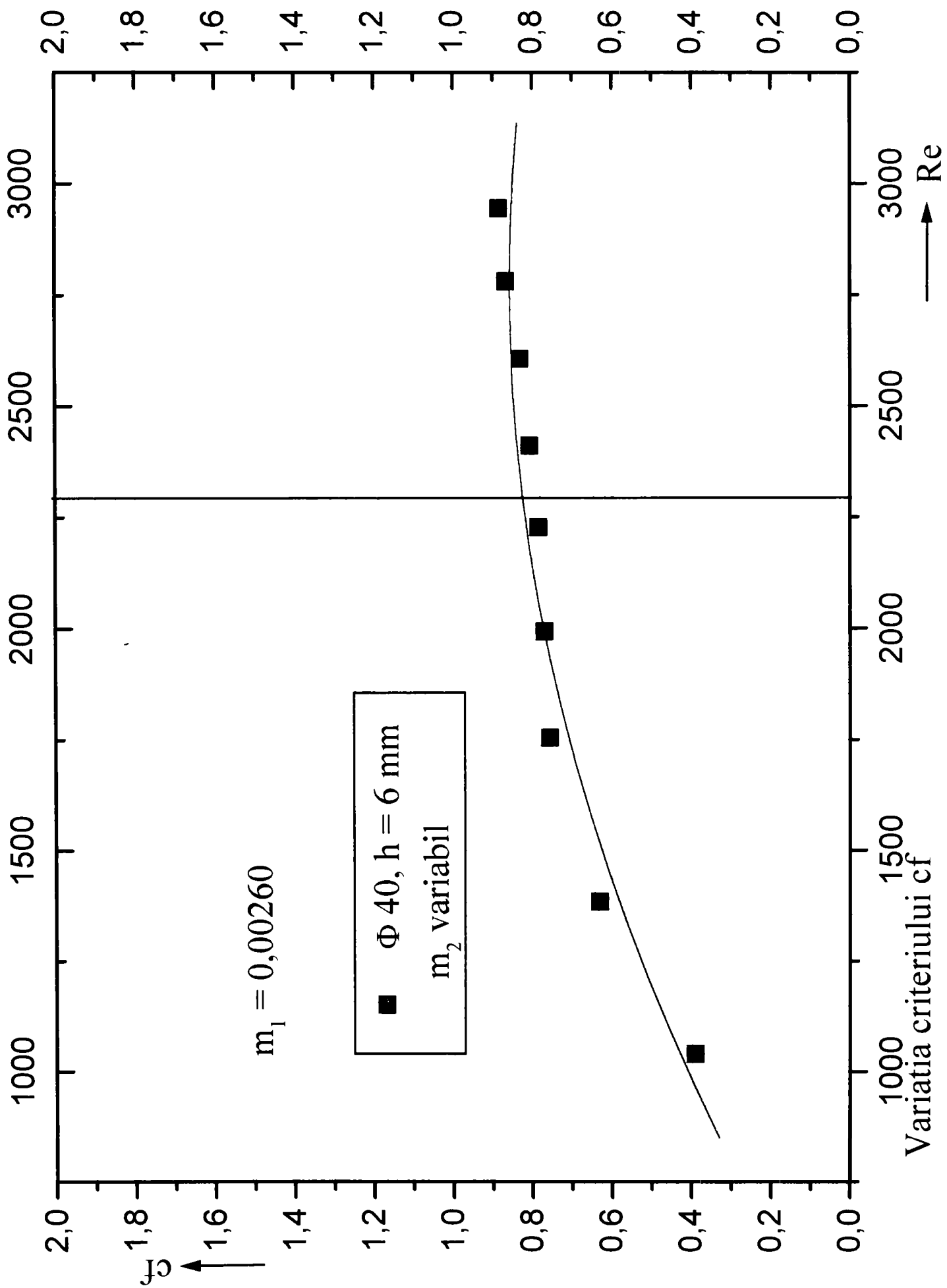
Variatia caderii de presiune Δp_2
 in functie de viteza aerului w_2



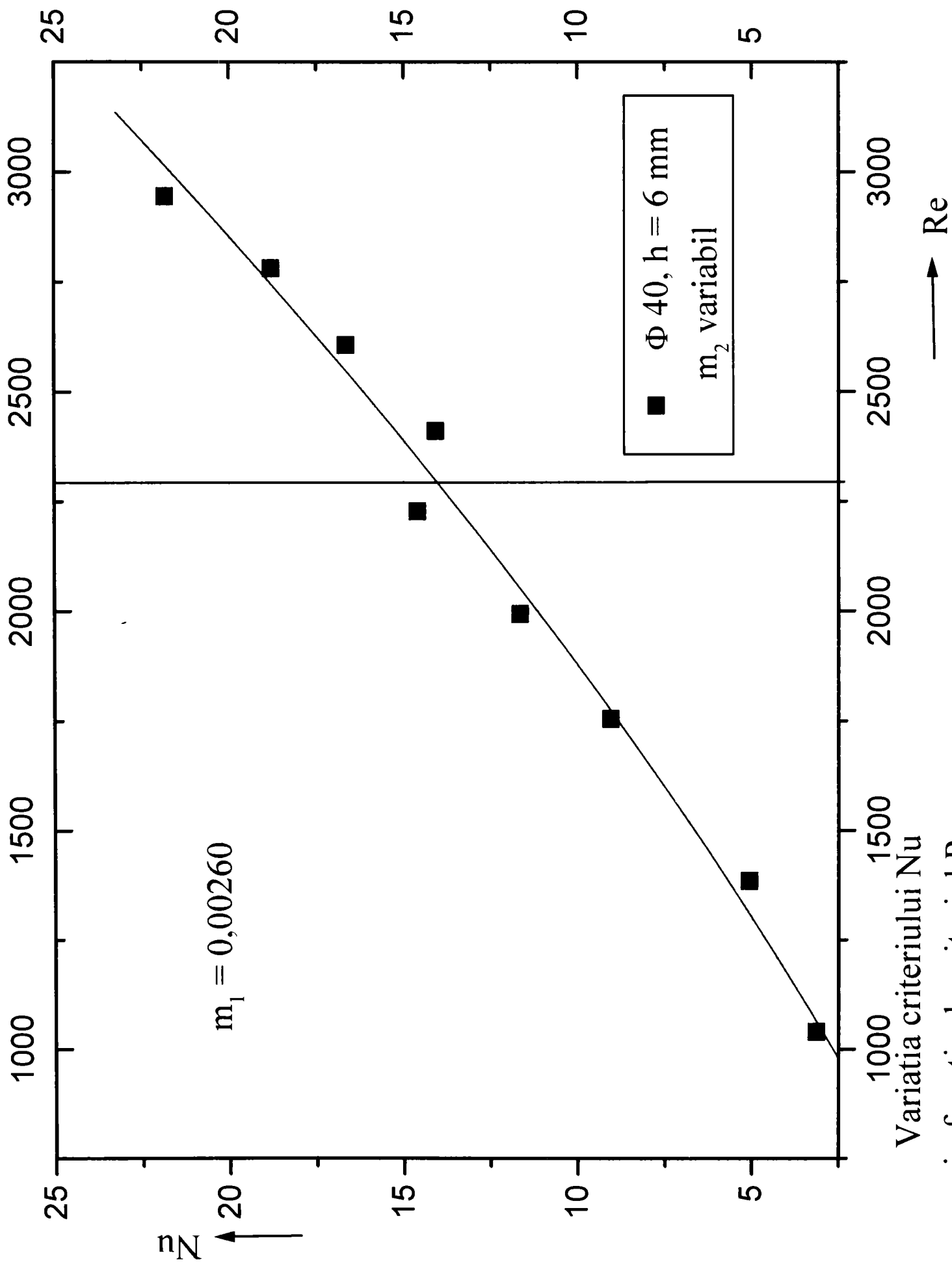
Variatia fluxului termic Q_2 in functie de viteza aerului w_2

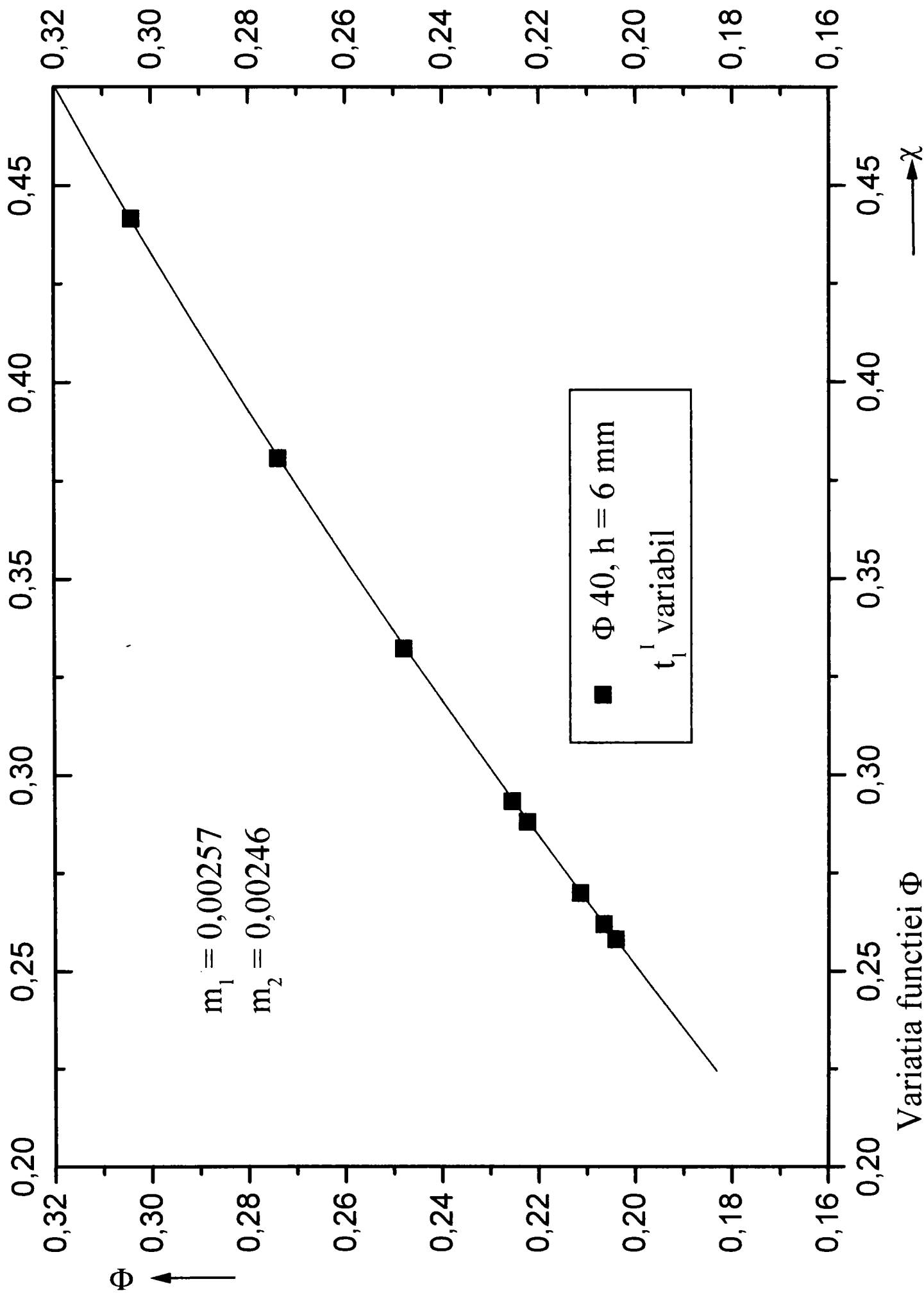


Variatia coef. global de transm. a caldurii k_2
 in functie de viteza aerului w_2

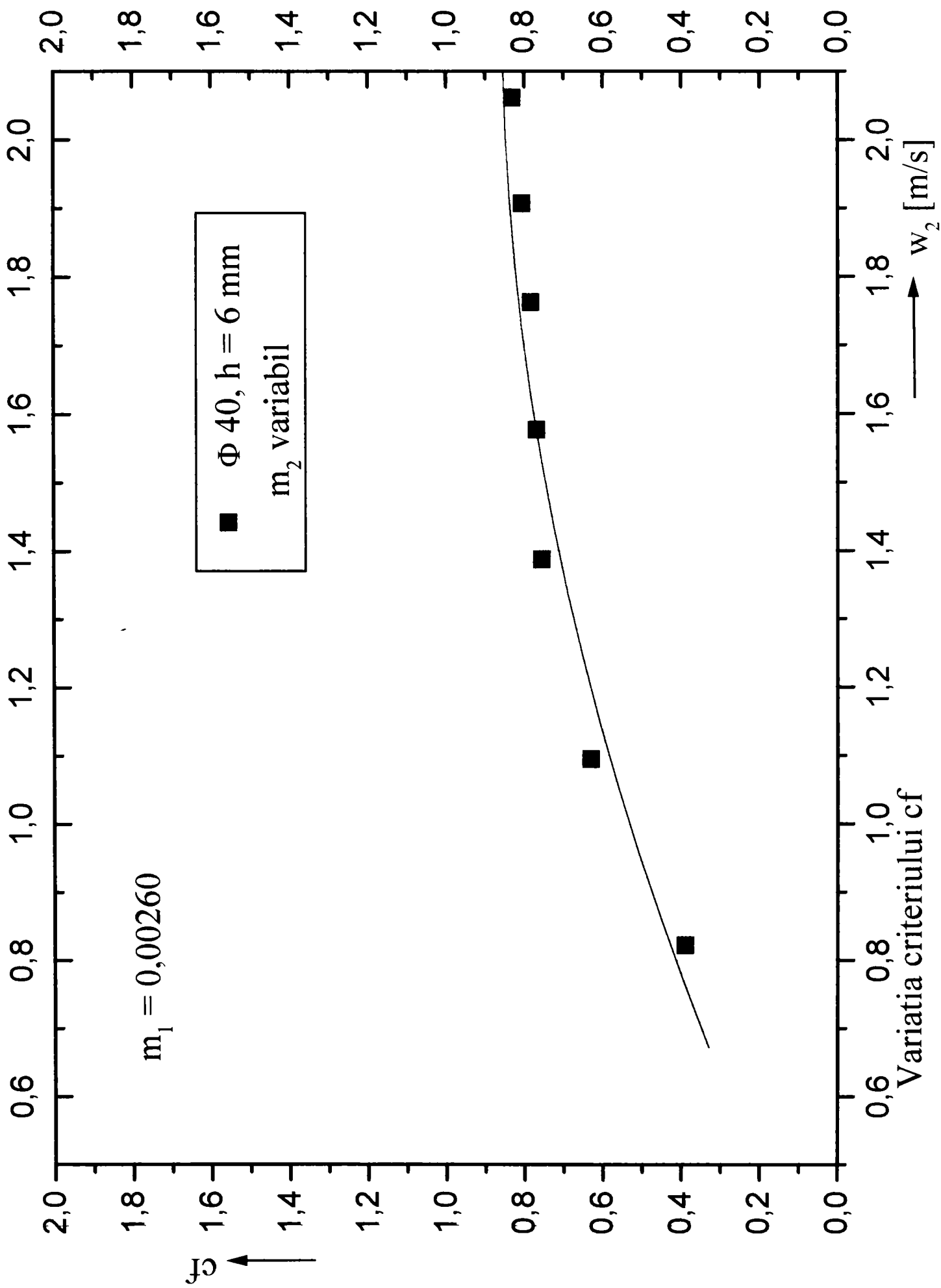


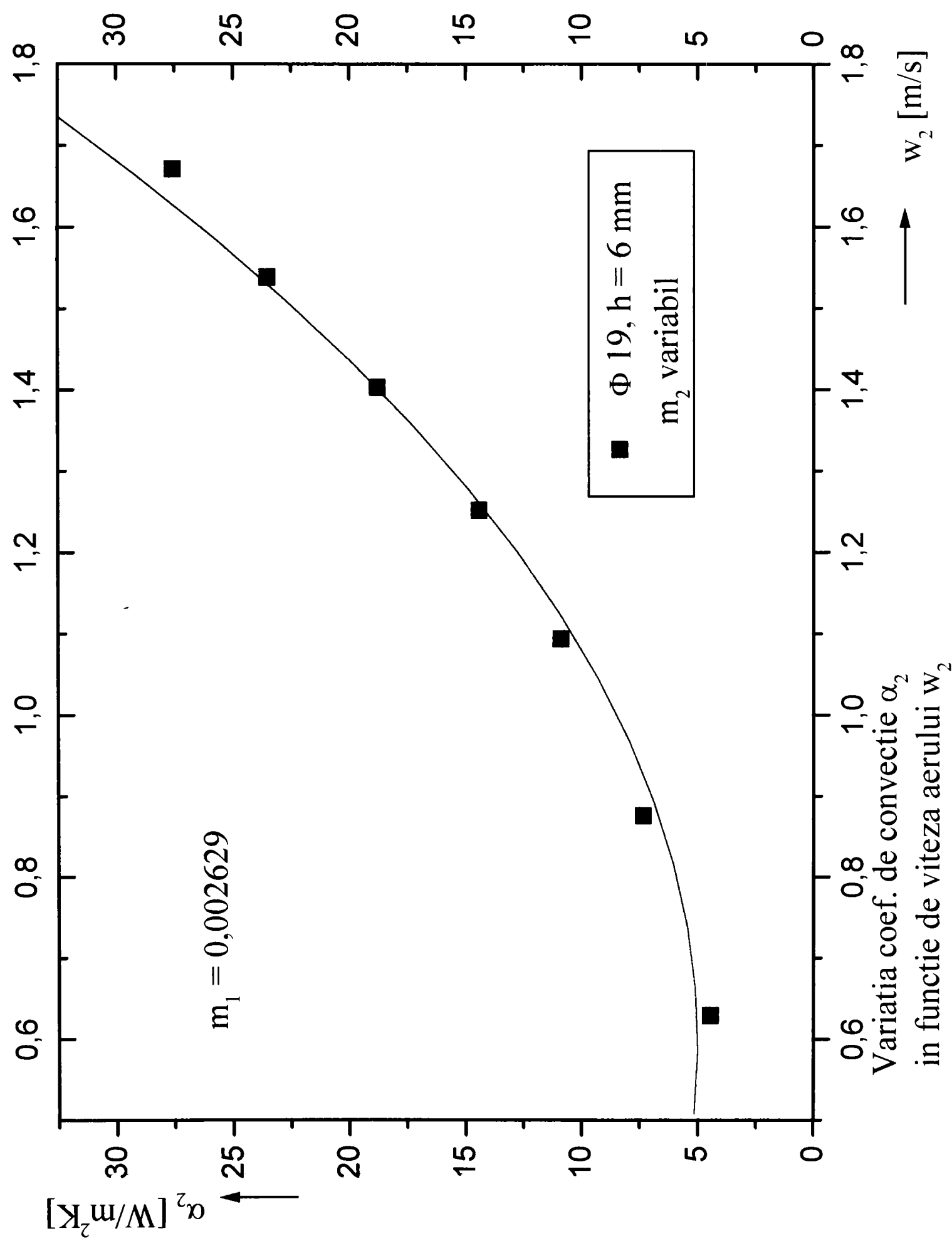
in functie de criteriul Re

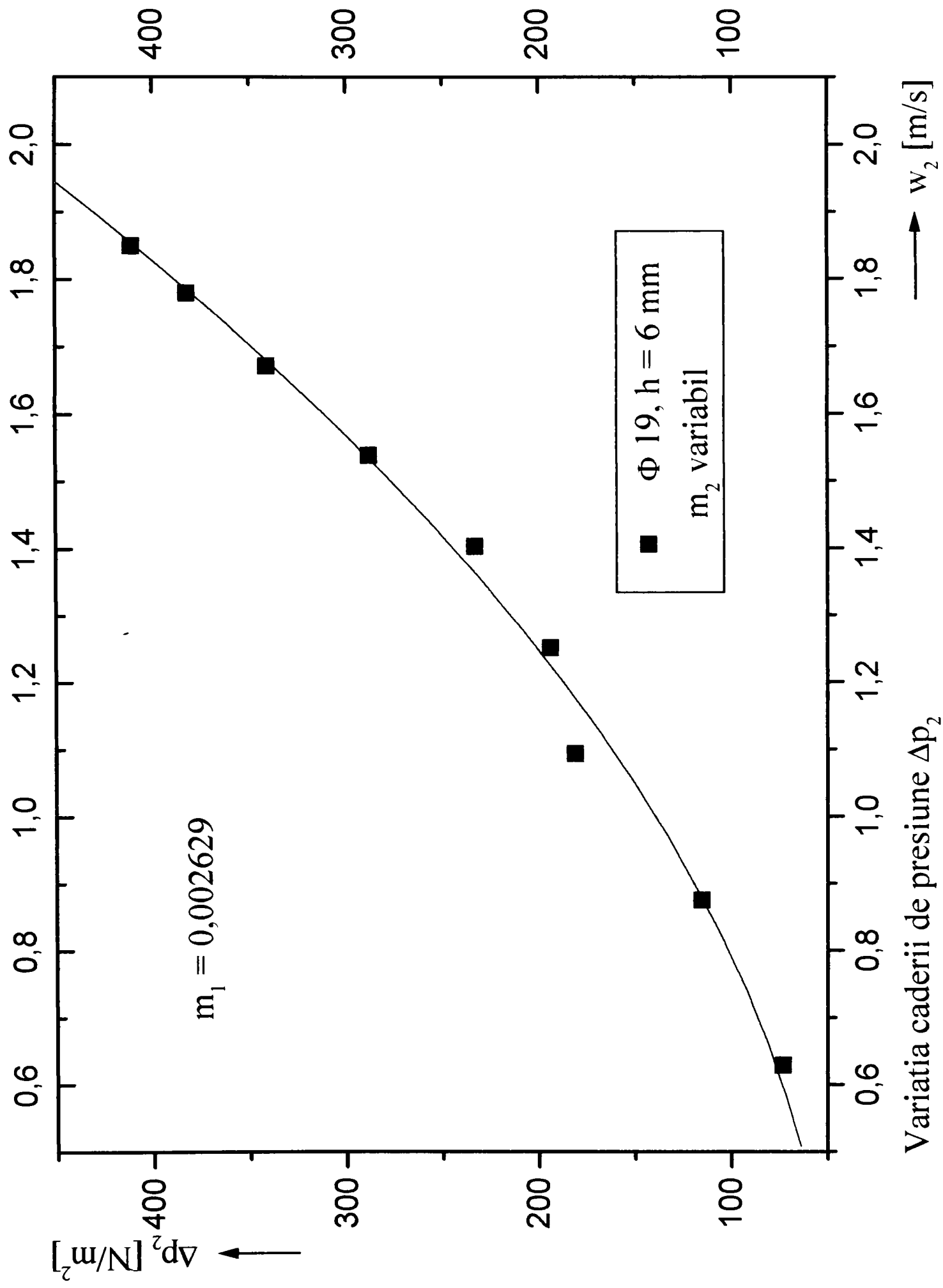




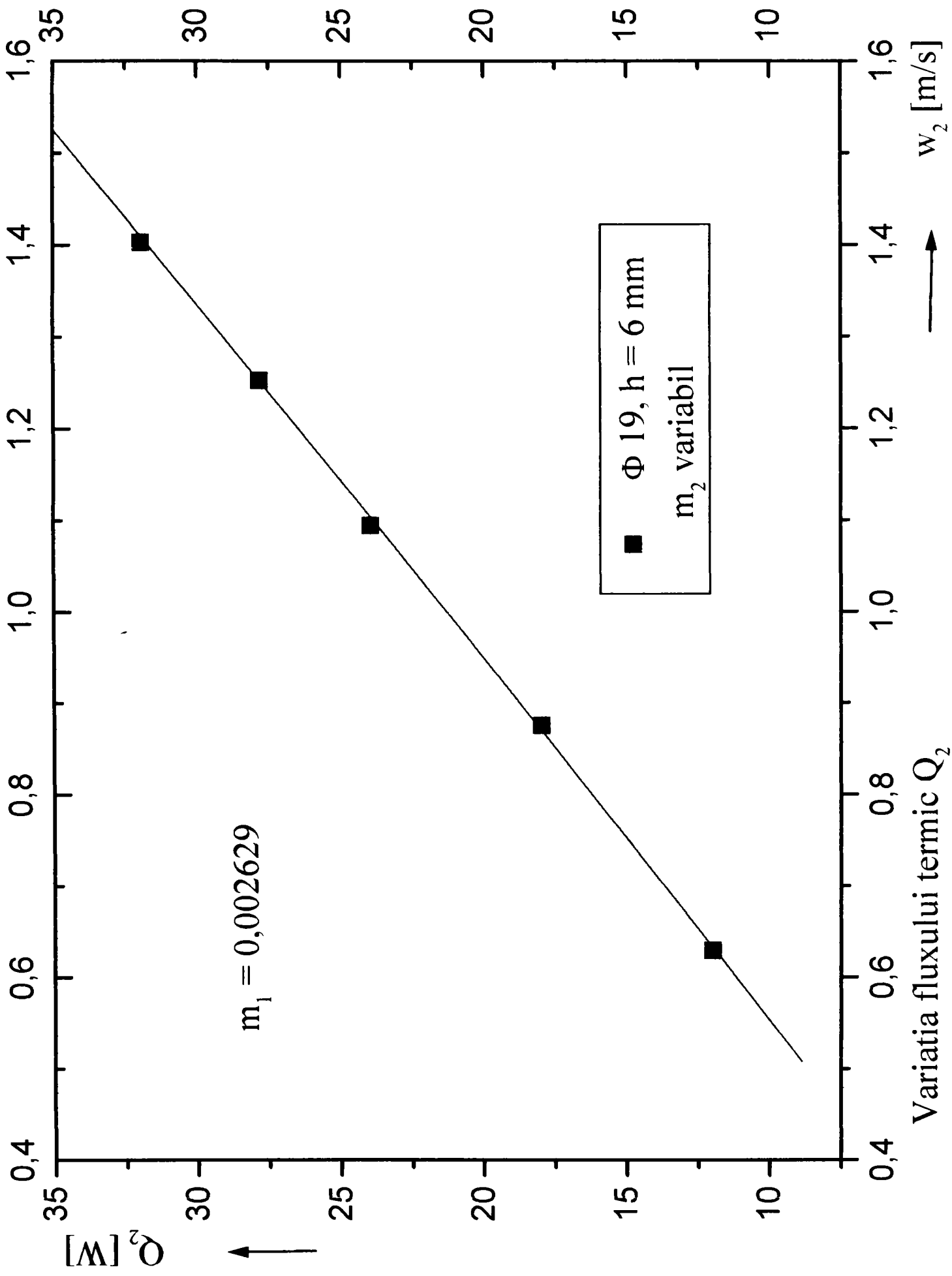
Variatia functiei Φ
in functie de criteriul χ



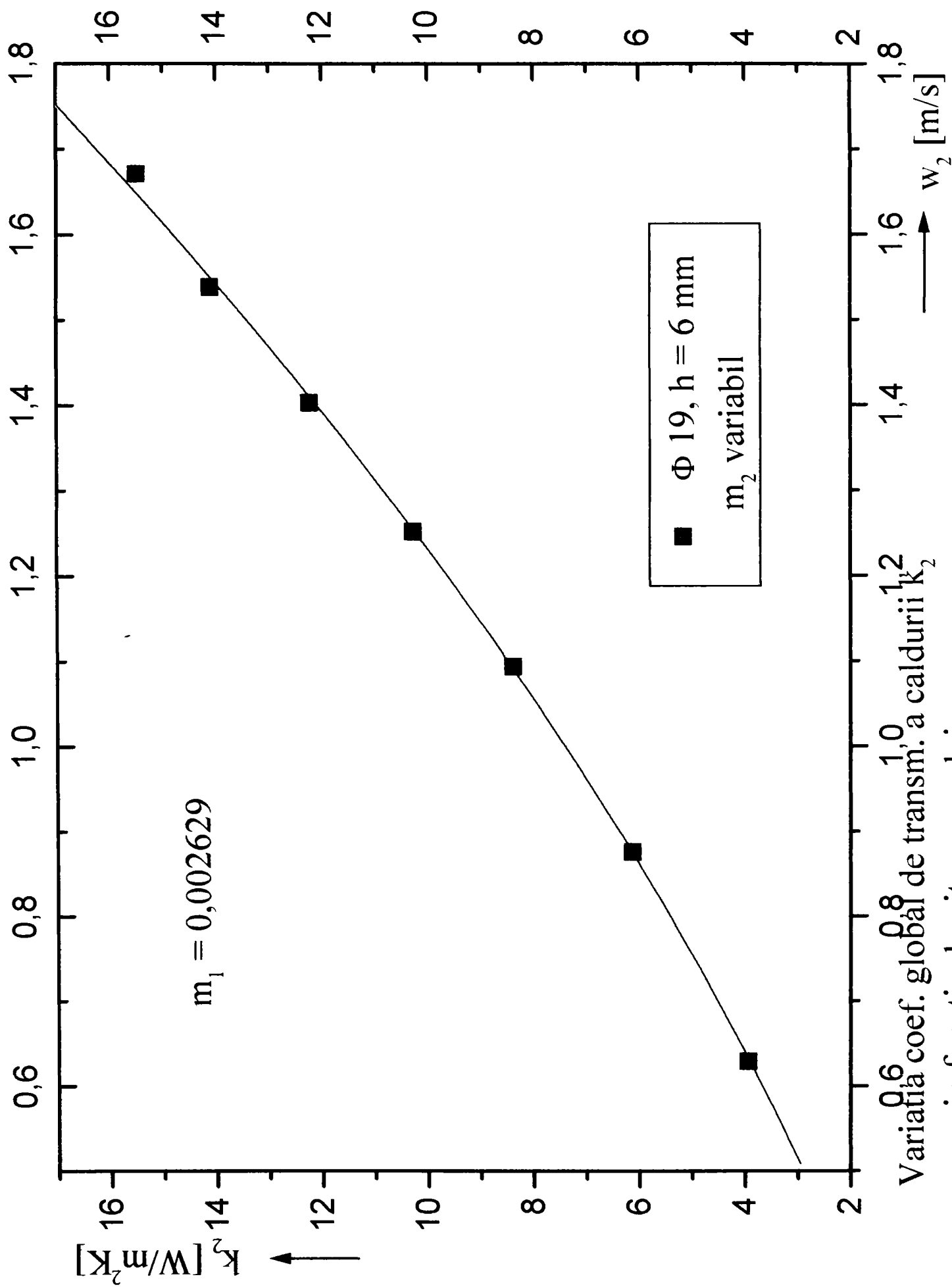




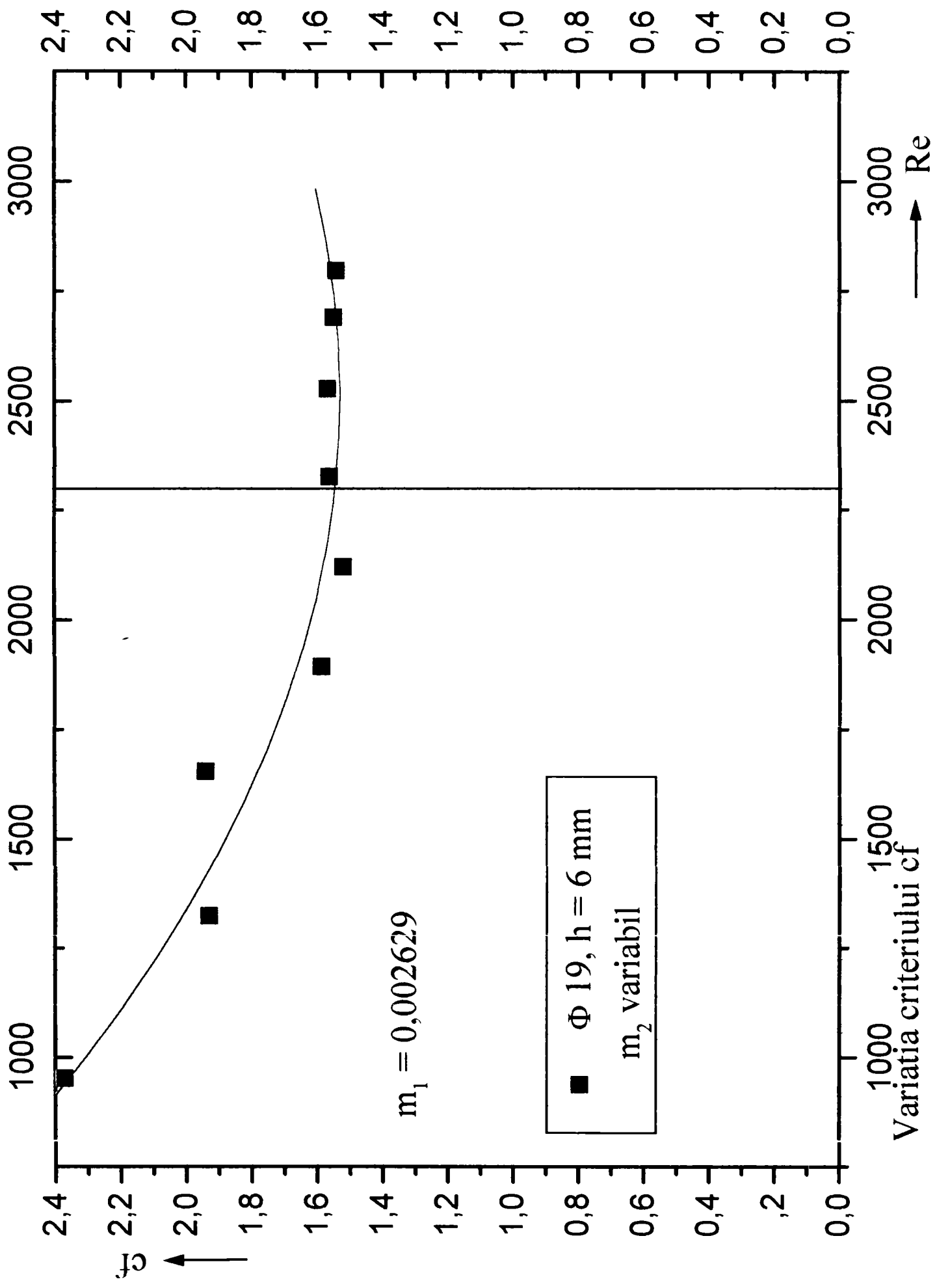
Variatia caderii de presiune Δp_2
 in functie de viteza aerului w_2



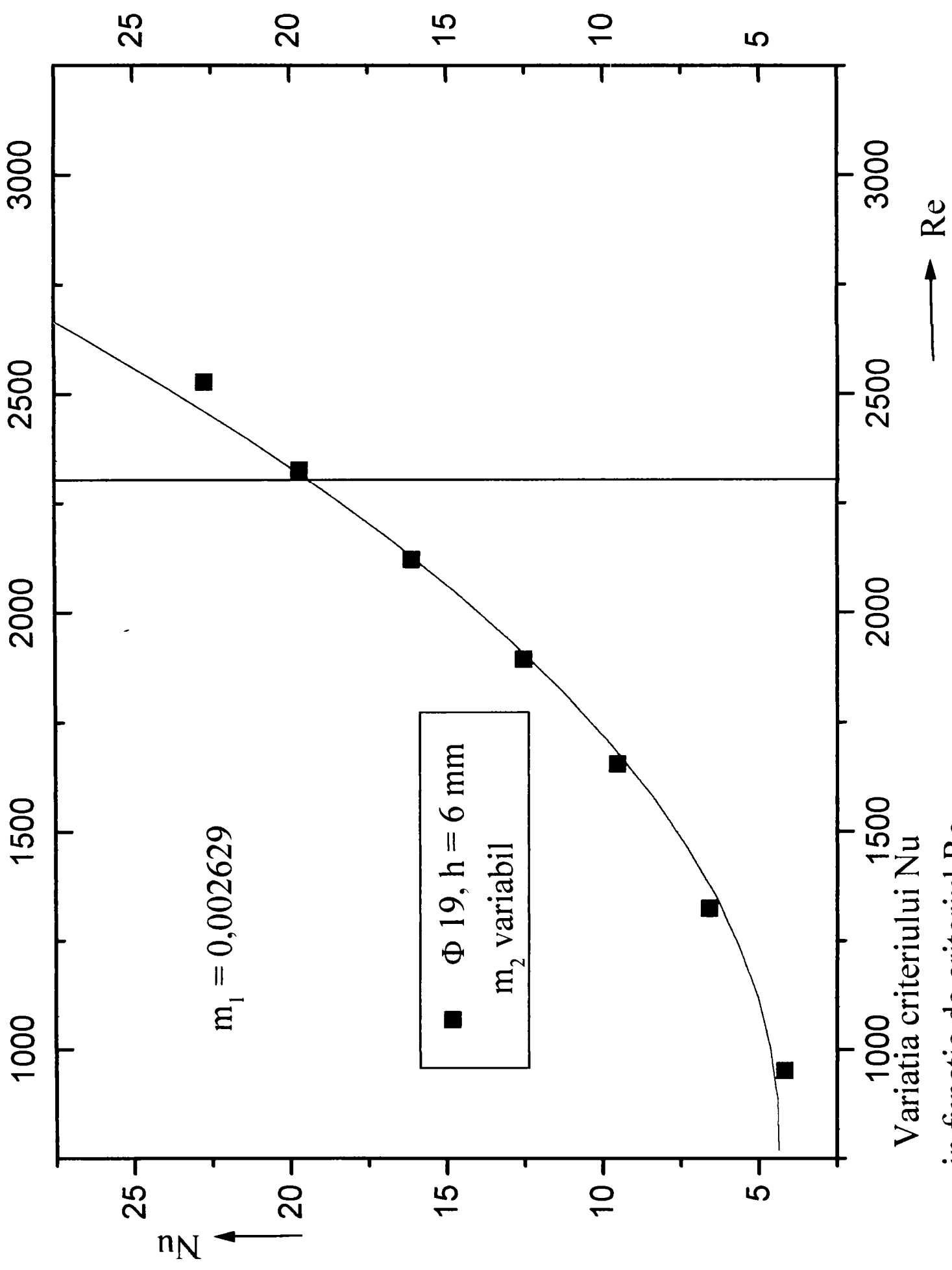
Variatia fluxului termic Q_2 in functie de viteza aerului w_2

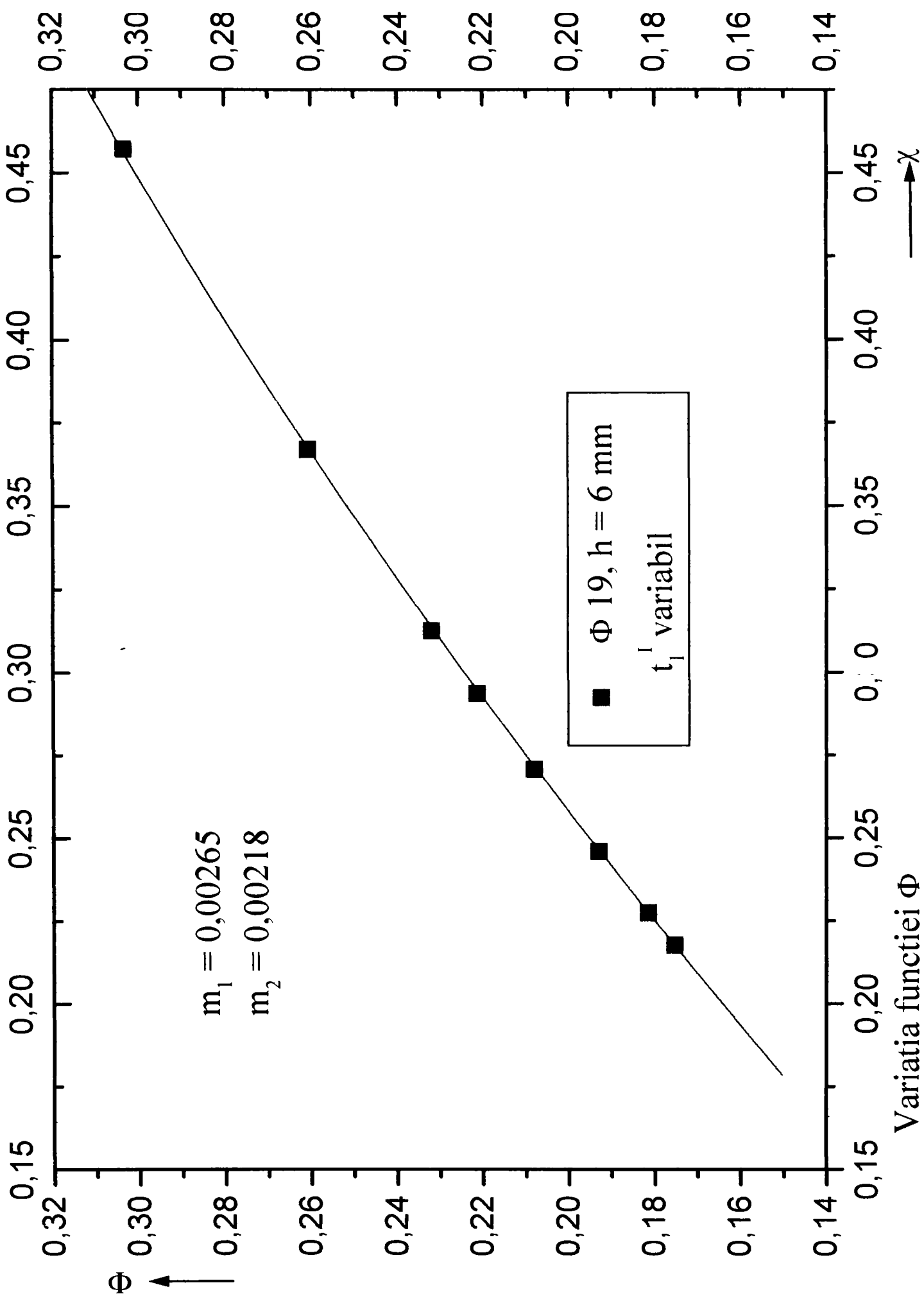


Variația coef. global de transm. a caldurii k_2
 în funcție de viteza aerului w_2

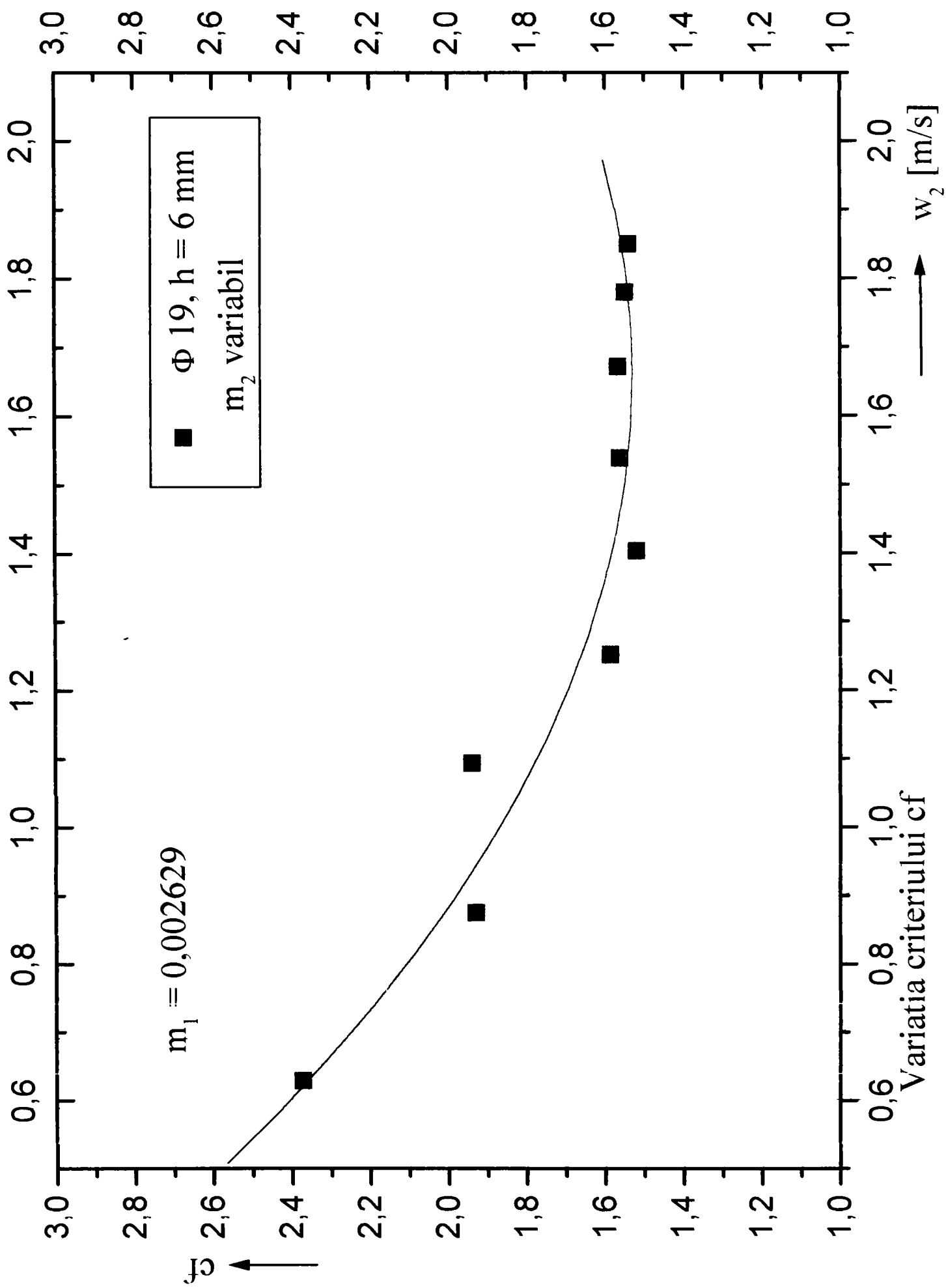


in functie de criteriul Re

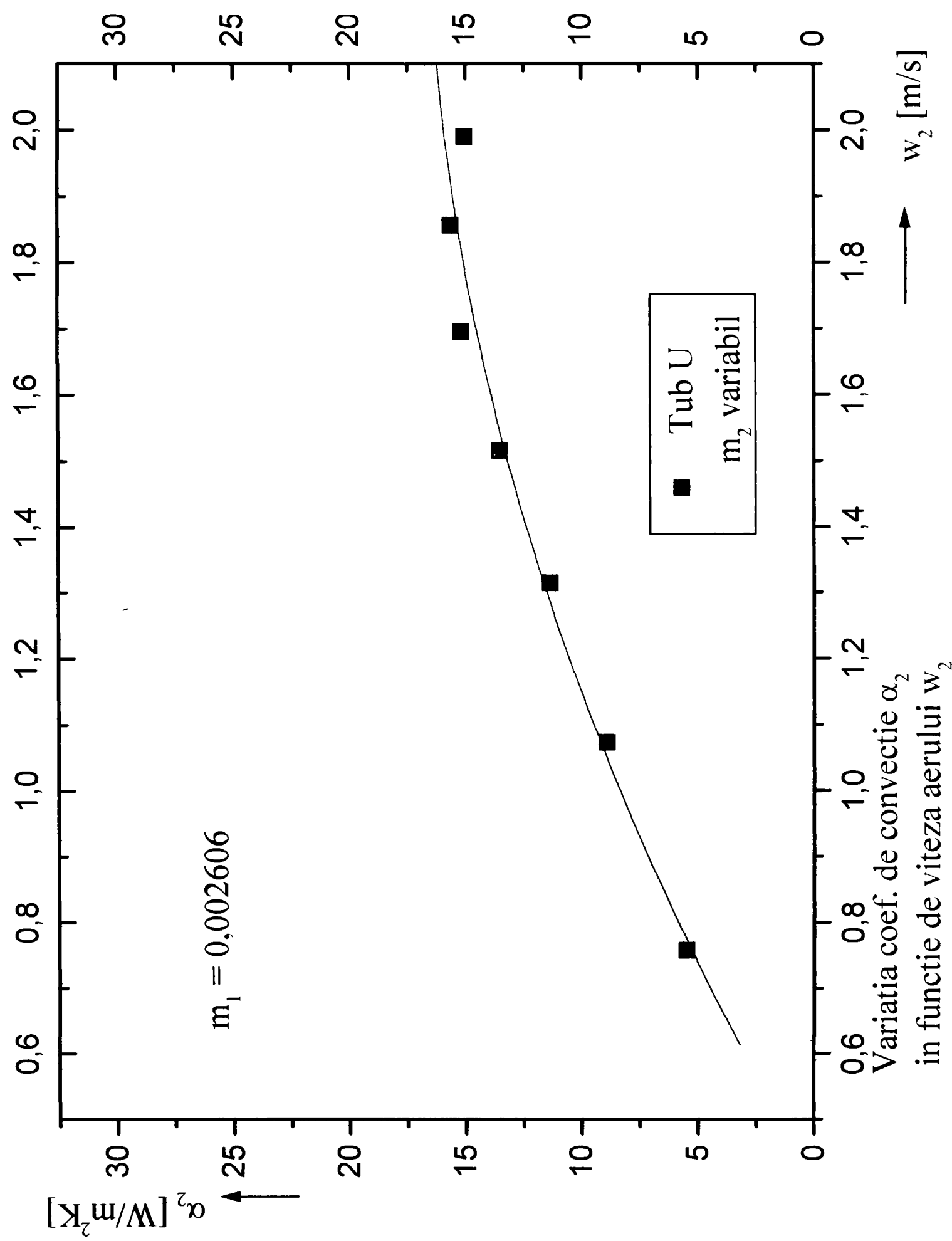


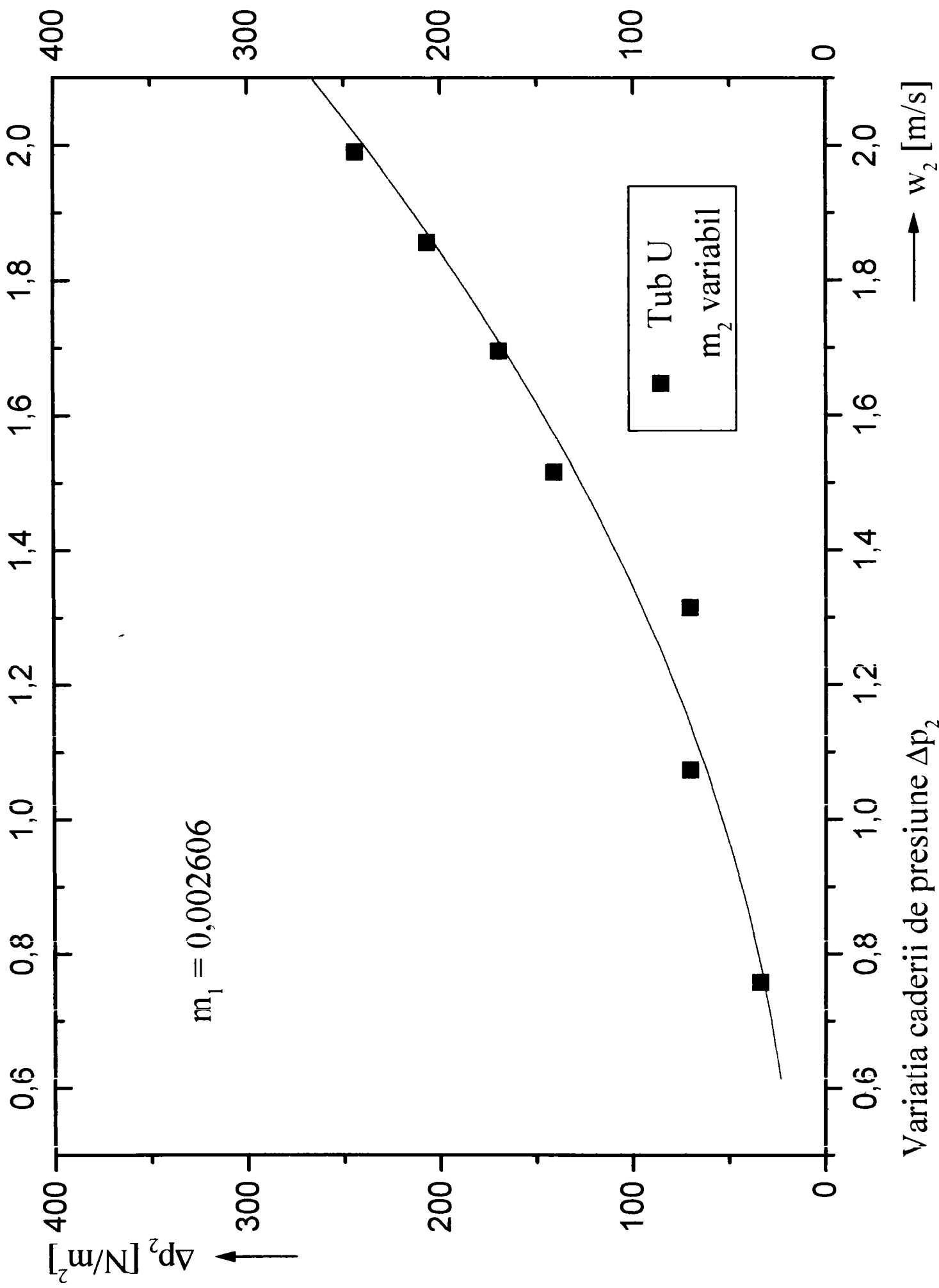


Variatia functiei Φ
in functie de criteriul χ

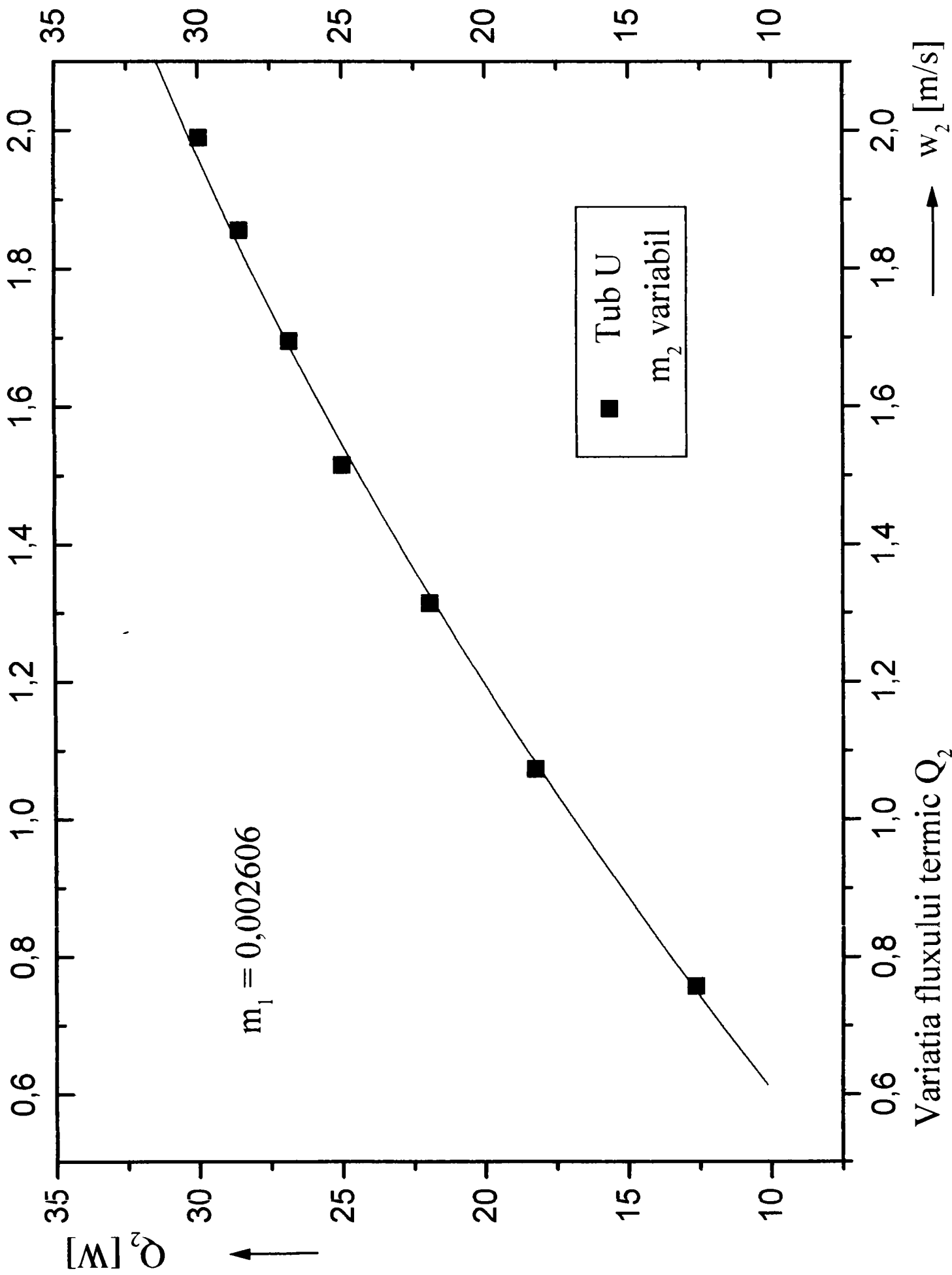


in functie de viteza aerului w_2

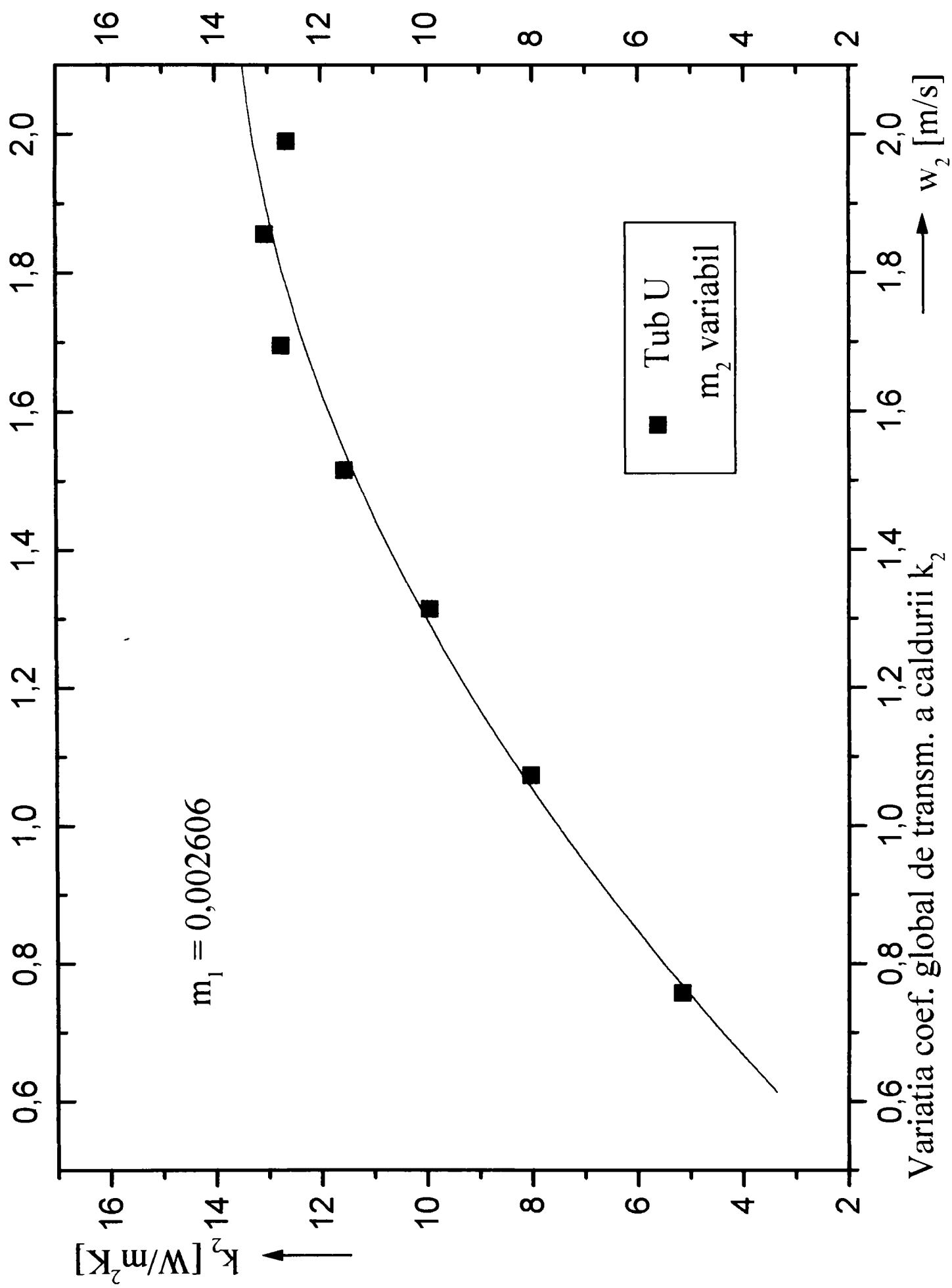




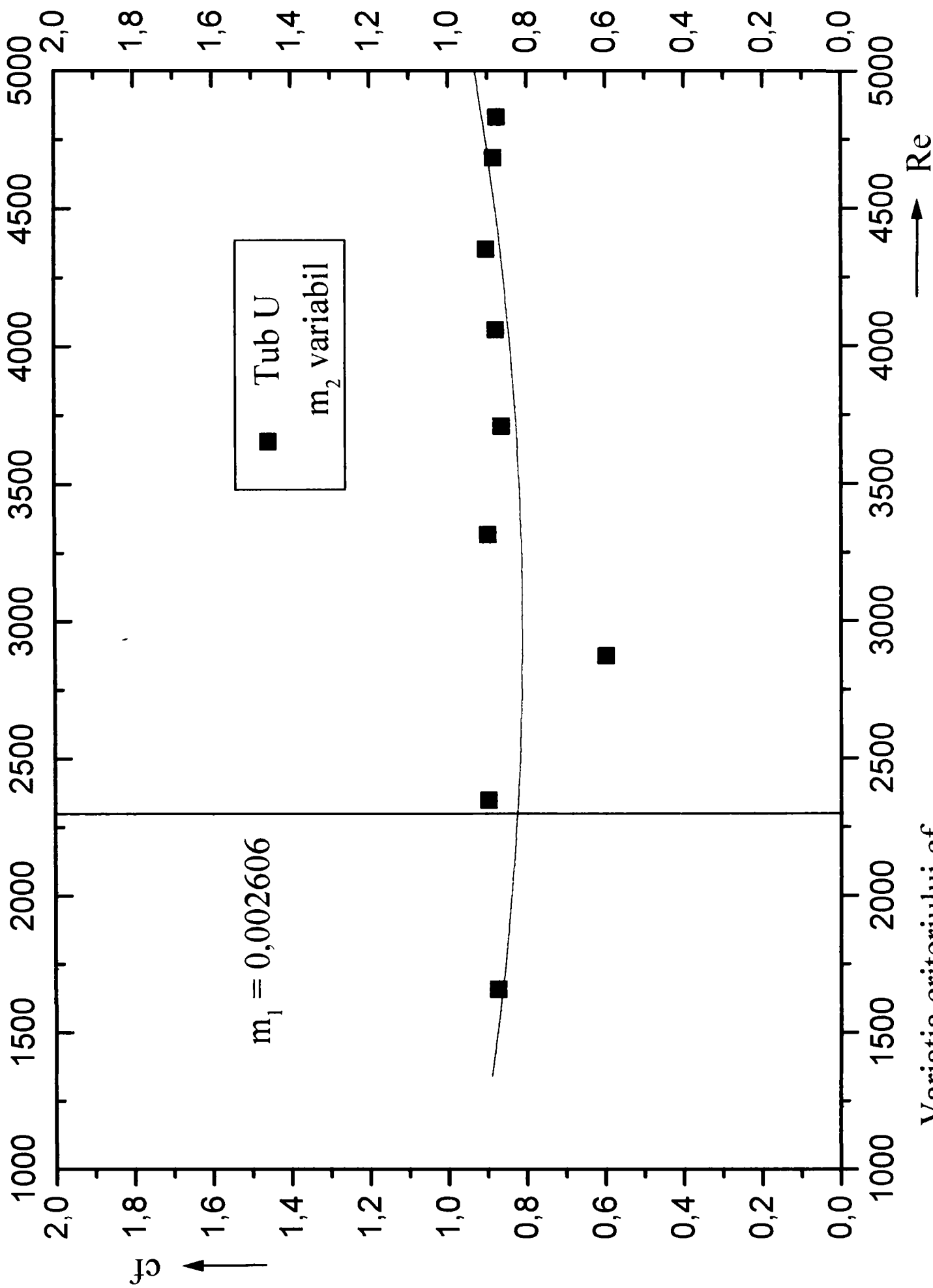
Variatia caderii de presiune Δp_2
 in functie de viteza aerului w_2



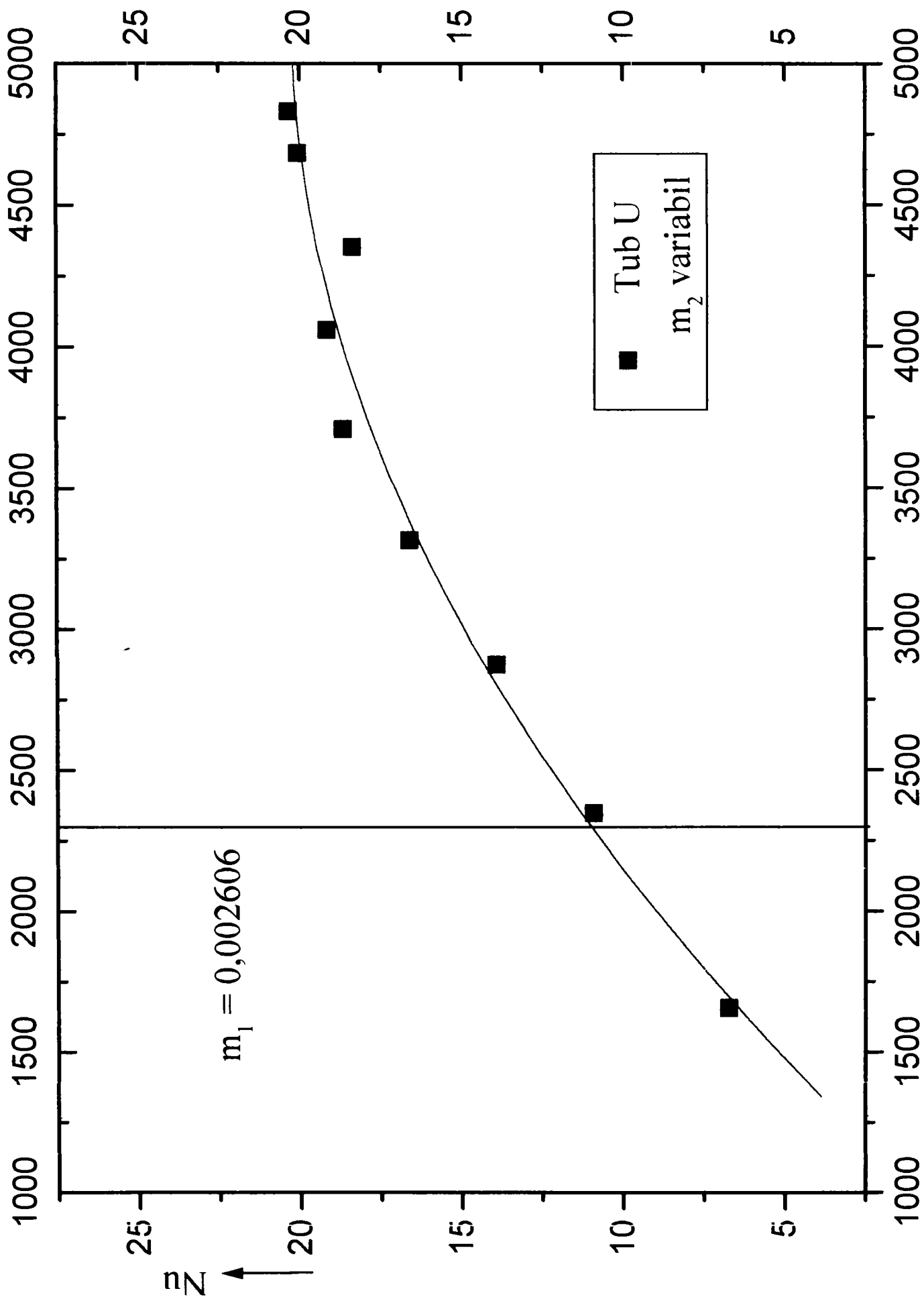
Variatia fluxului termic Q_2
in functie de viteza aerului w_2



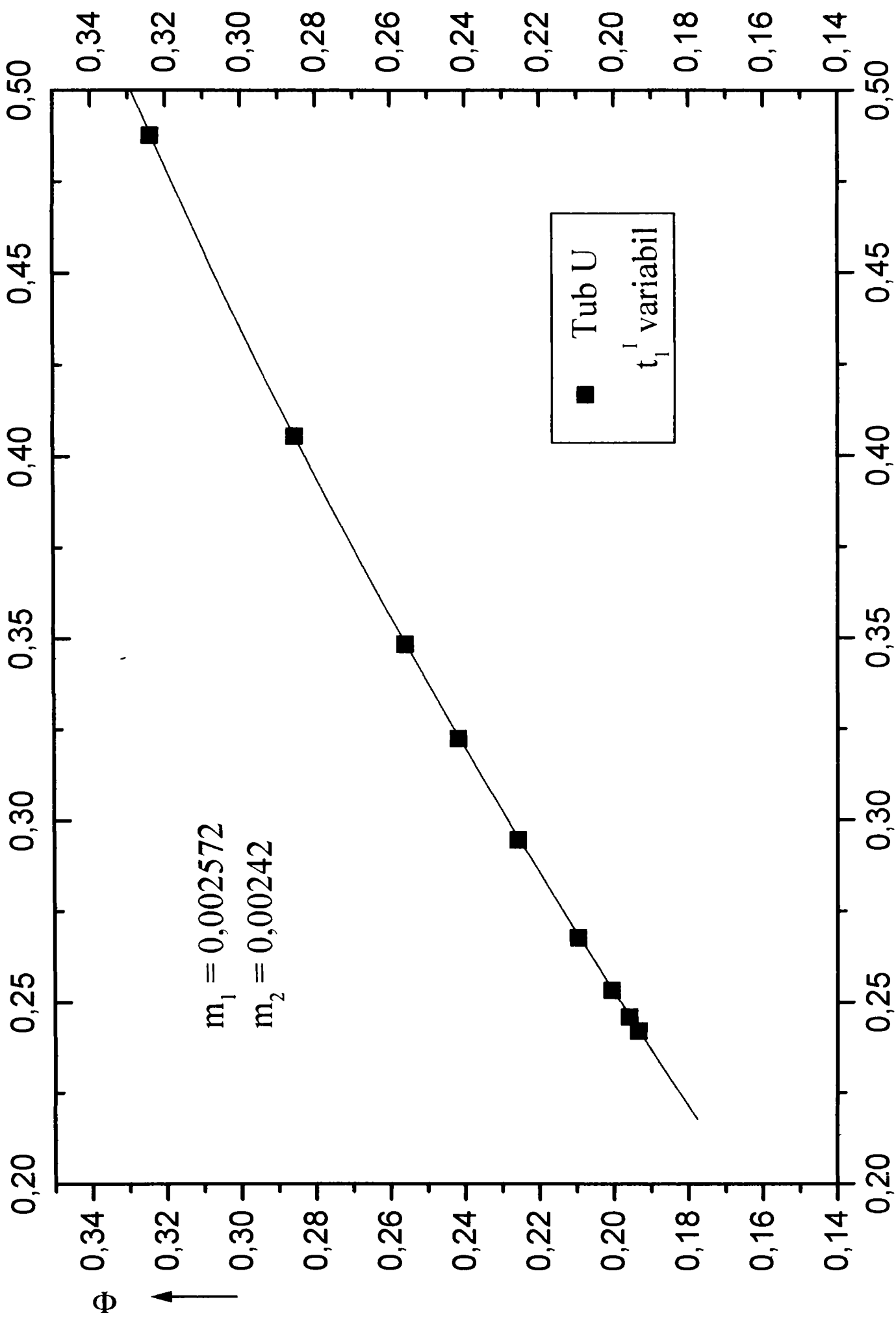
Variatia coef. global de transm. a caldurii k_2
in functie de viteza aerului w_2



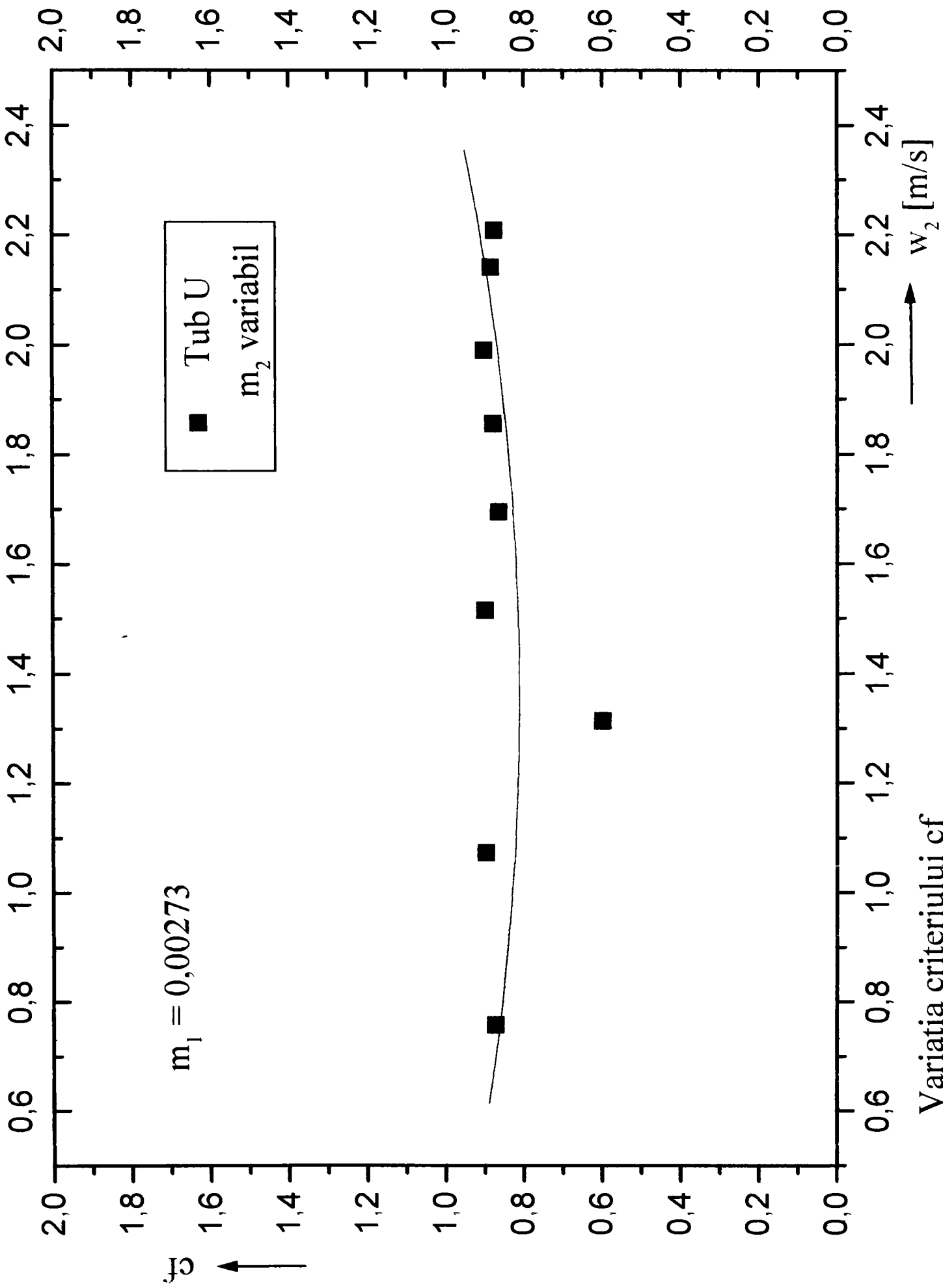
Variatia criteriului cf
in functie de criteriul Re



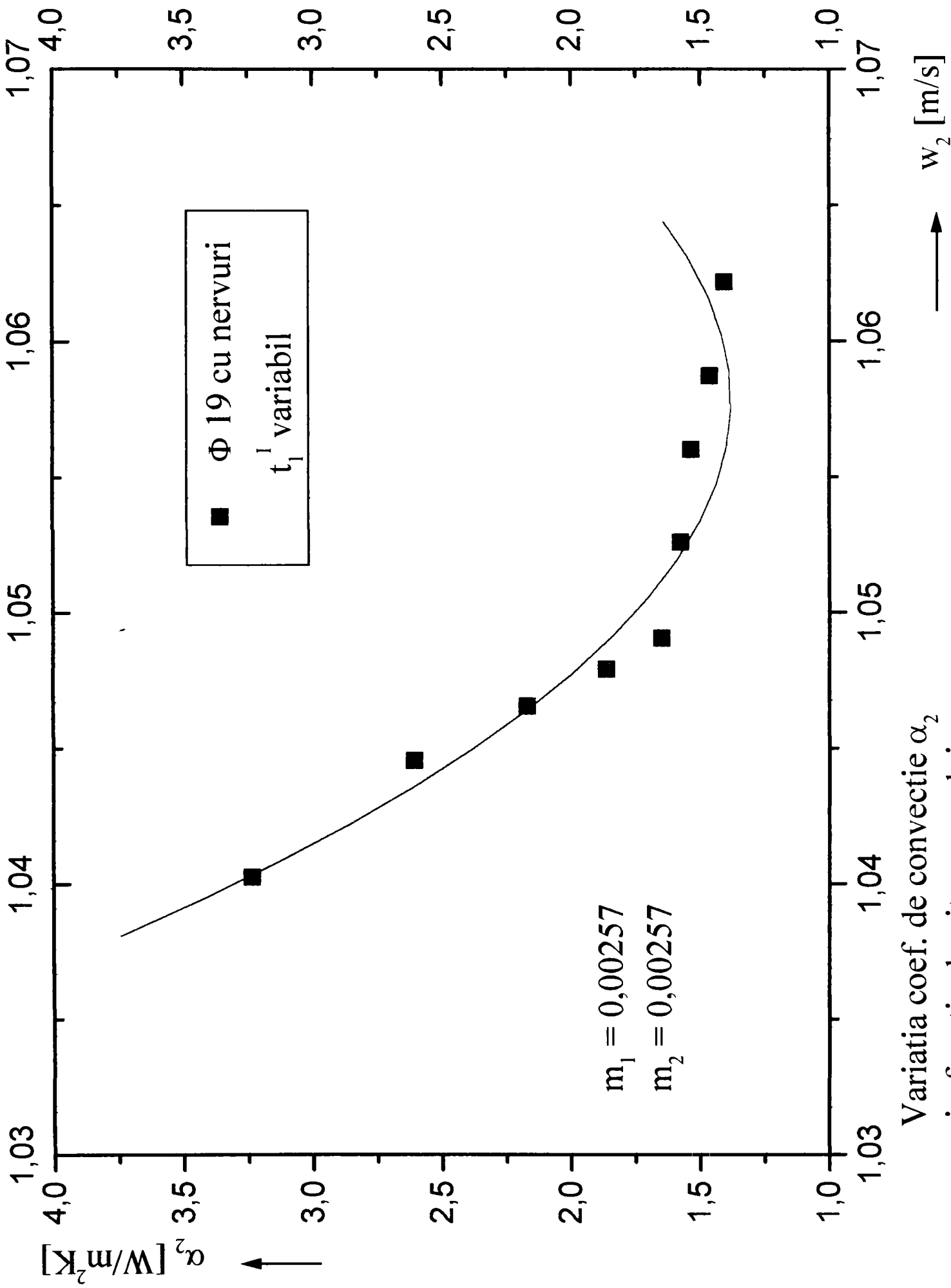
Variatia criteriului Nu
in functie de criteriul Re



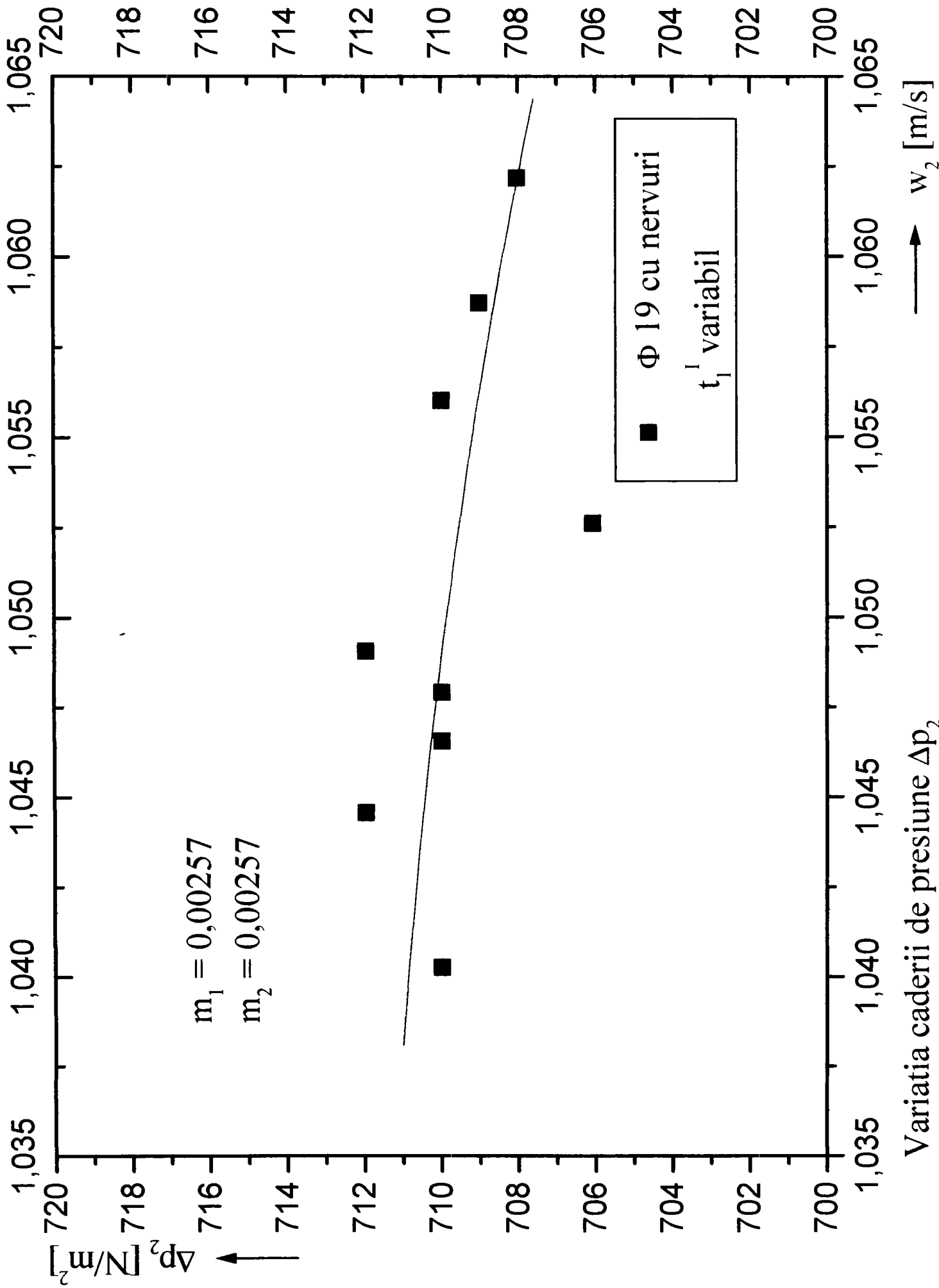
Variatia functiei Φ
in functie de criteriul χ



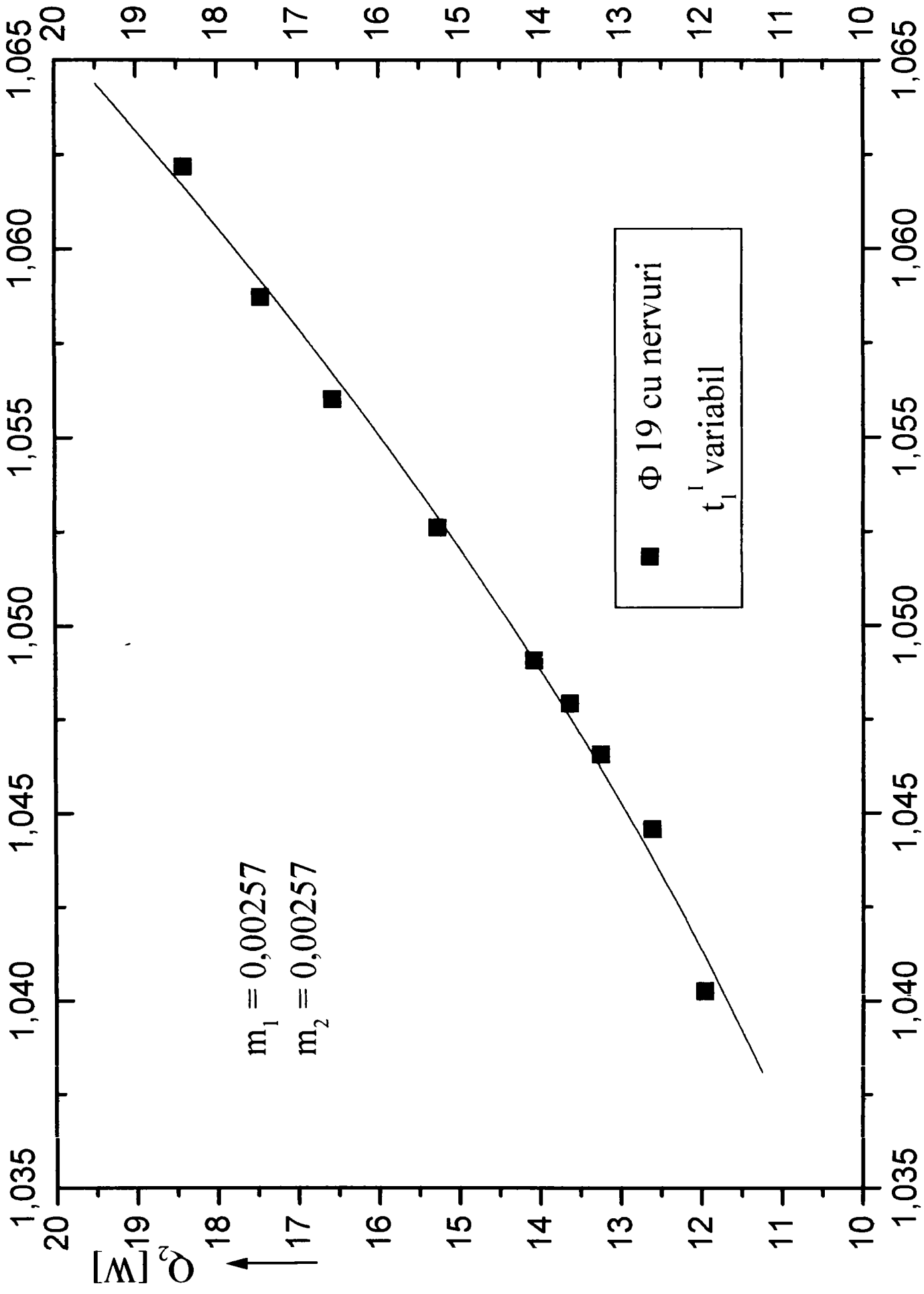
Variatia criteriului cf
 in functie de viteza aerului w₂



Variatia coef. de convecție α_2
 în funcție de viteza aerului w_2

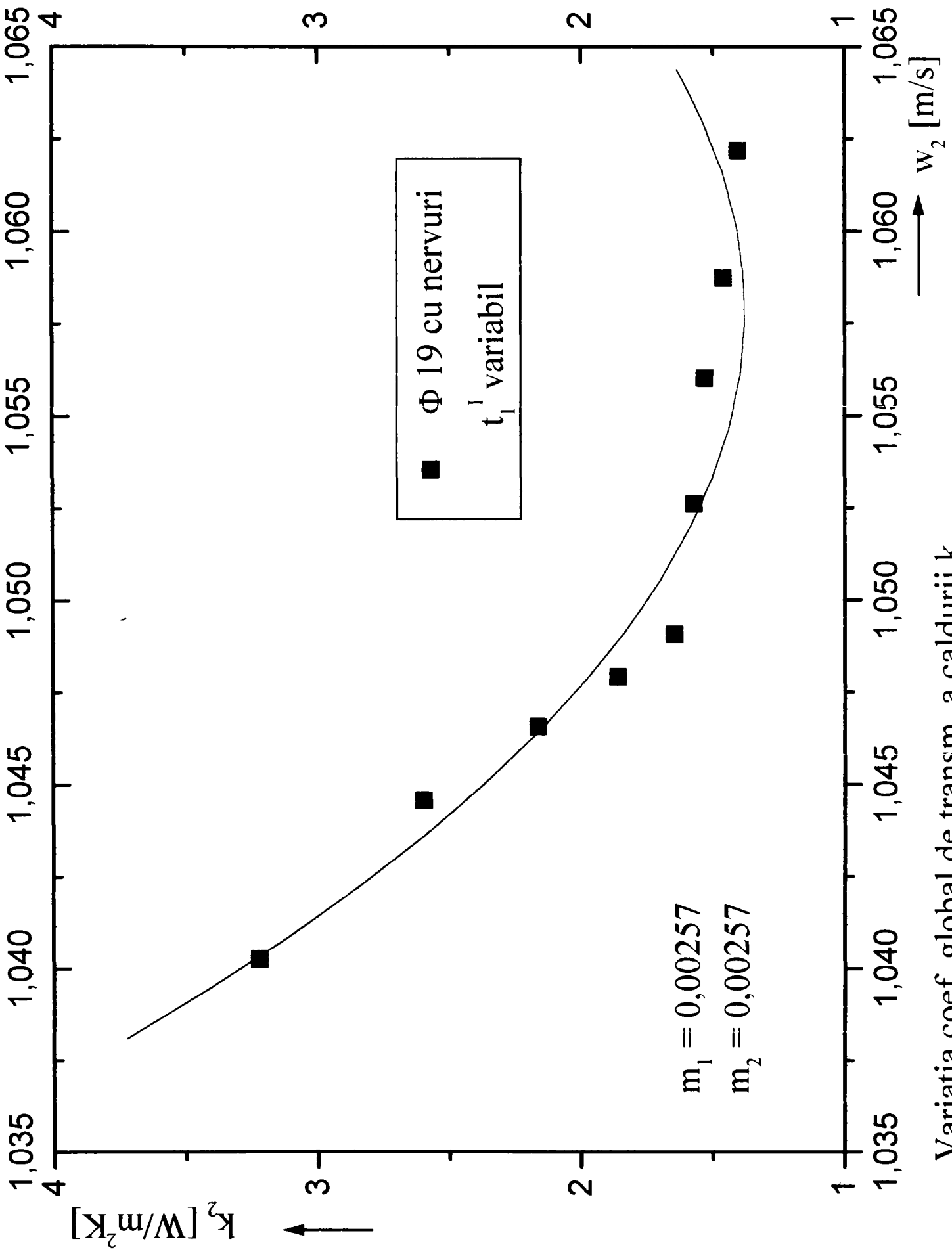


Variatia caderii de presiune Δp_2
 in functie de viteza aerului w_2

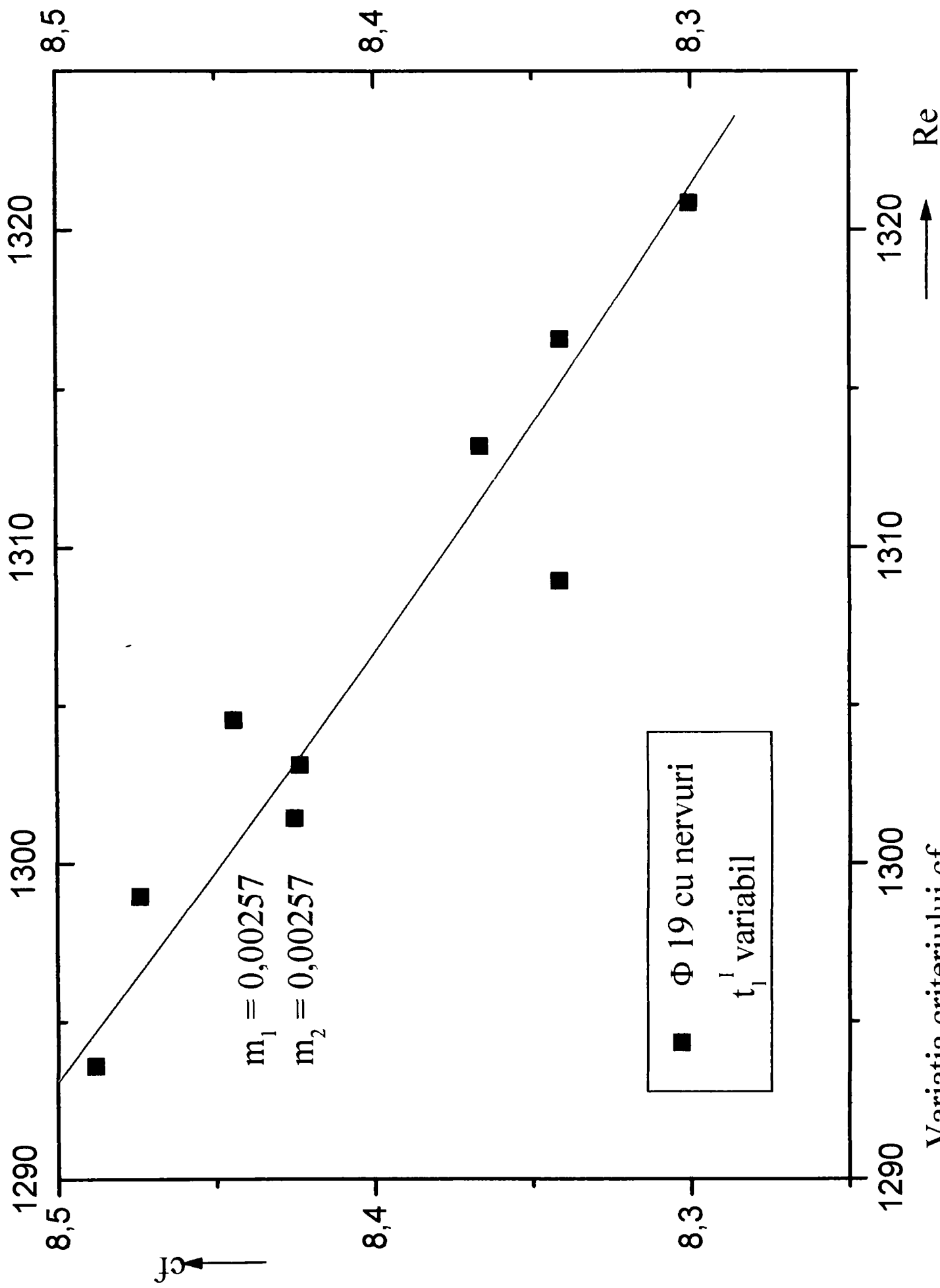


Variatia fluxului termic Q_2 in functie de viteza aerului w_2

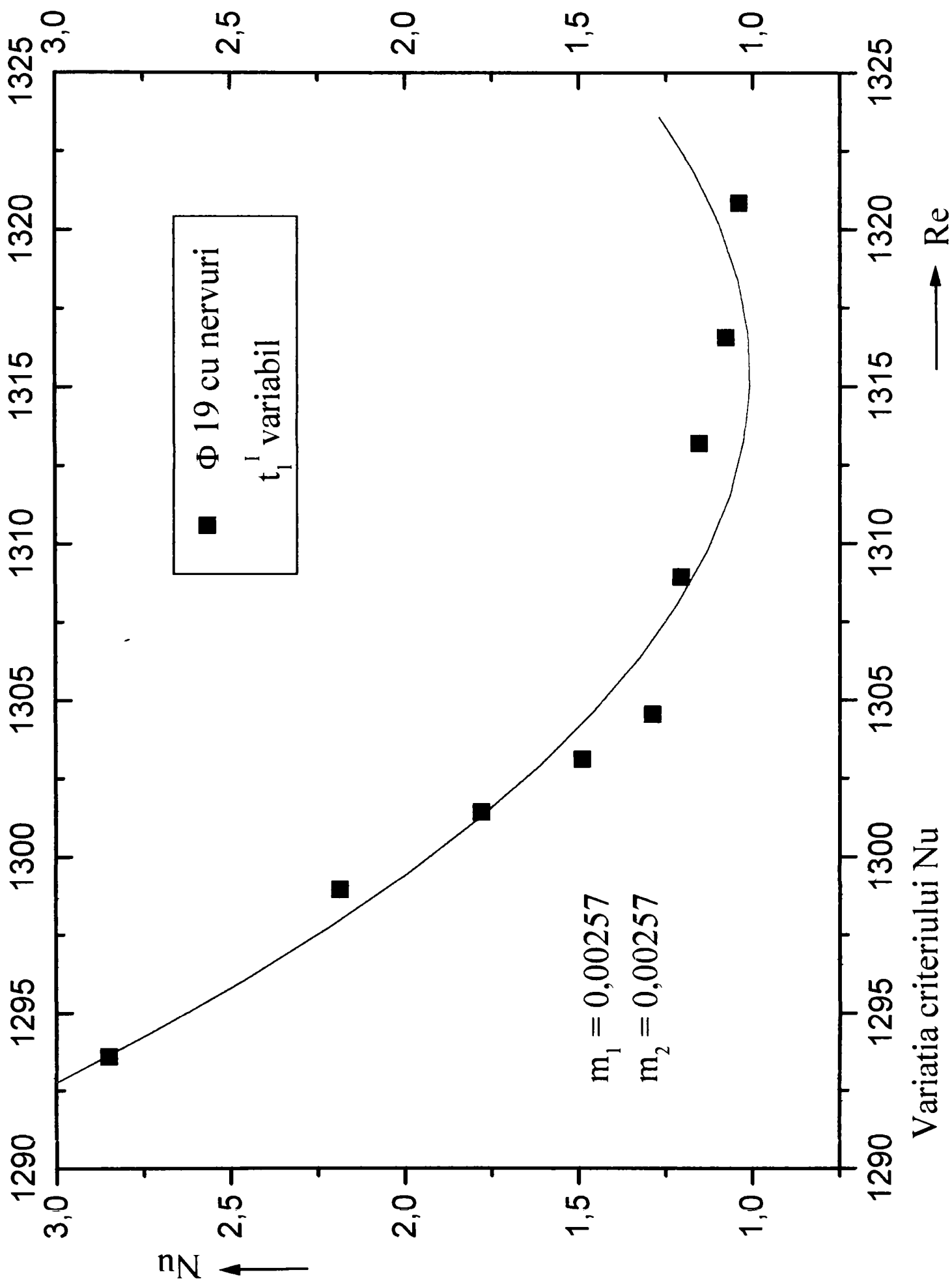
w_2 [m/s]



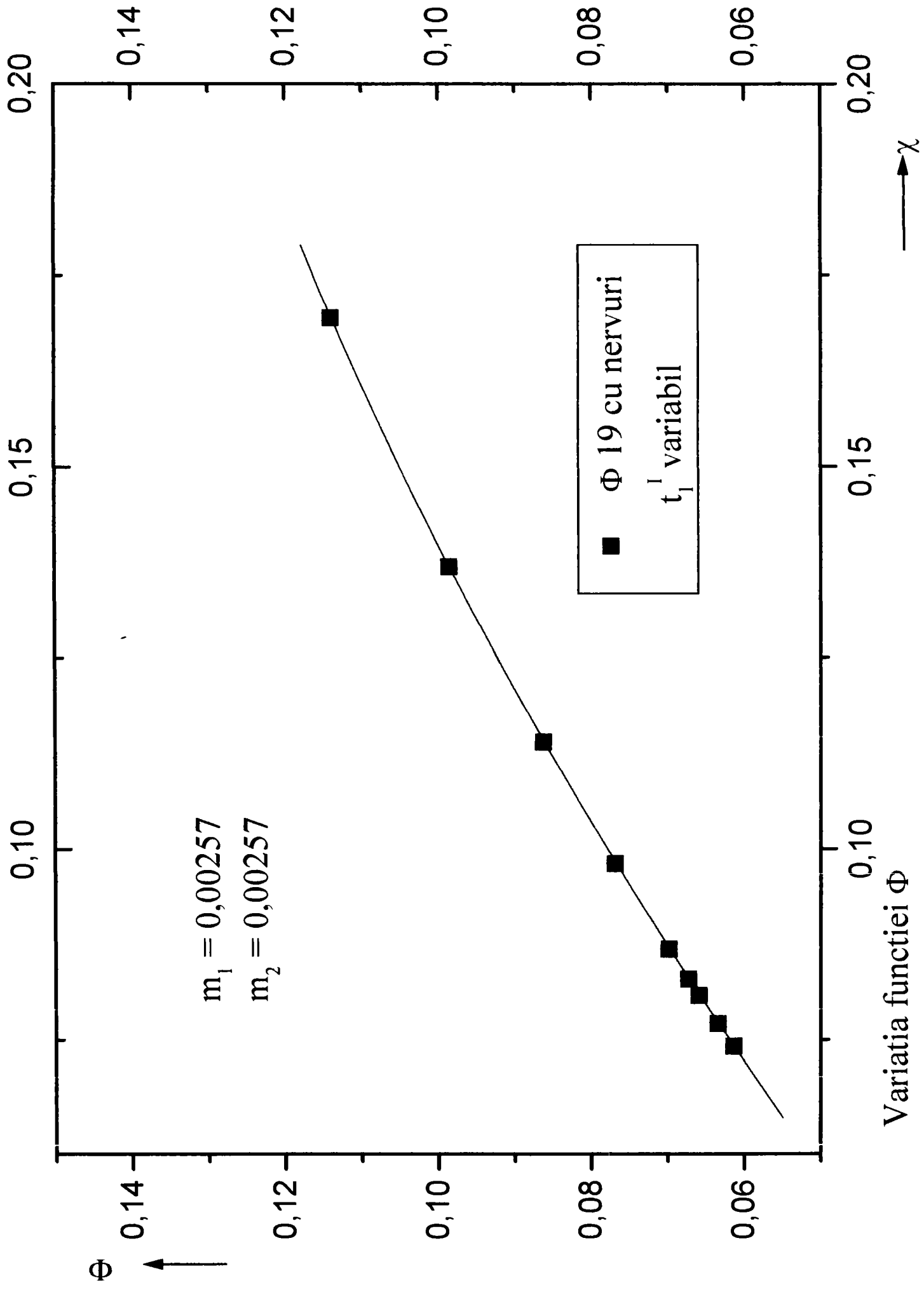
Variatia coef. global de transm. a caldurii k_2
 in functie de viteza aerului w_2



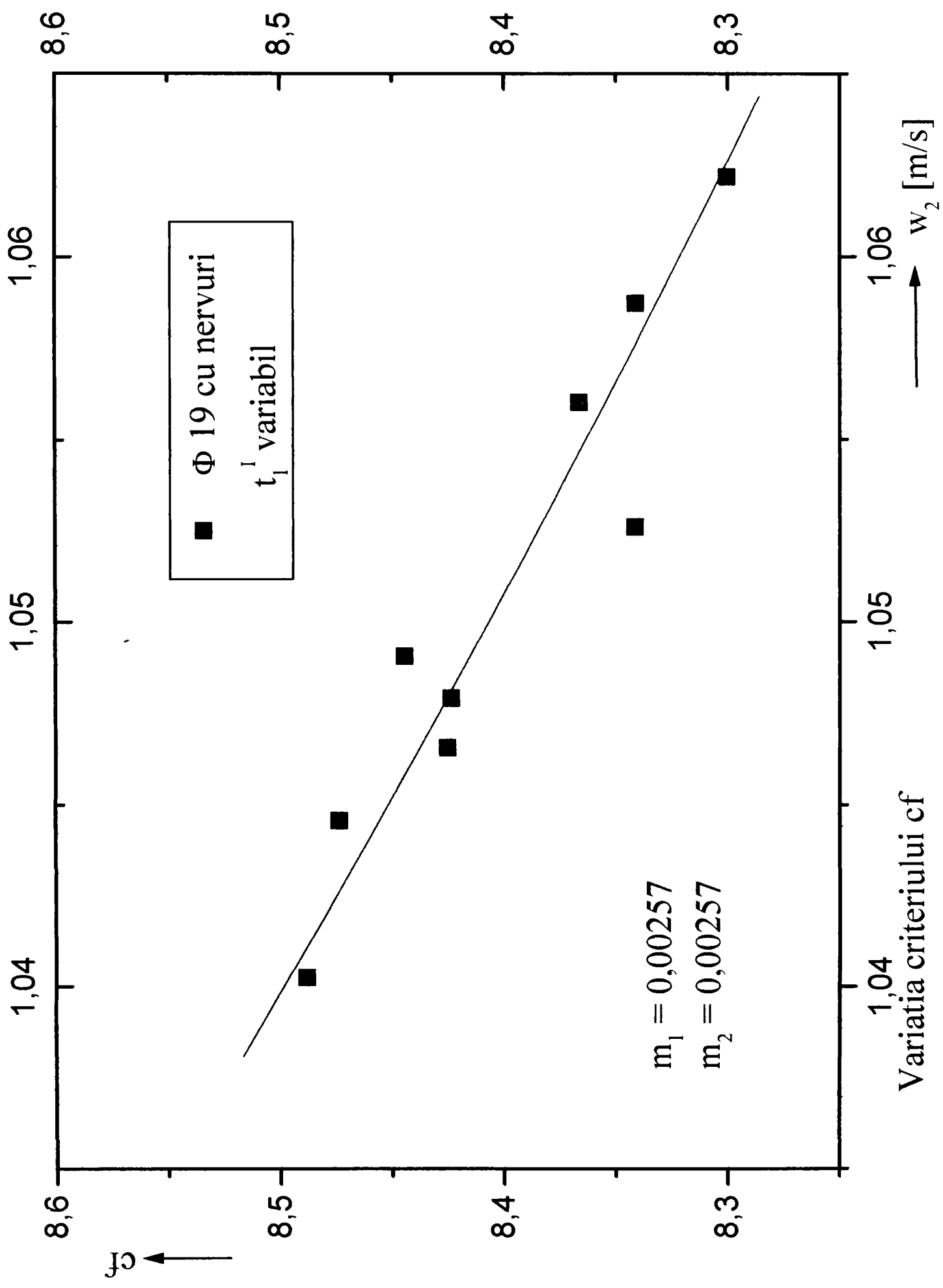
Variatia criteriului cf
in functie de criteriul Re

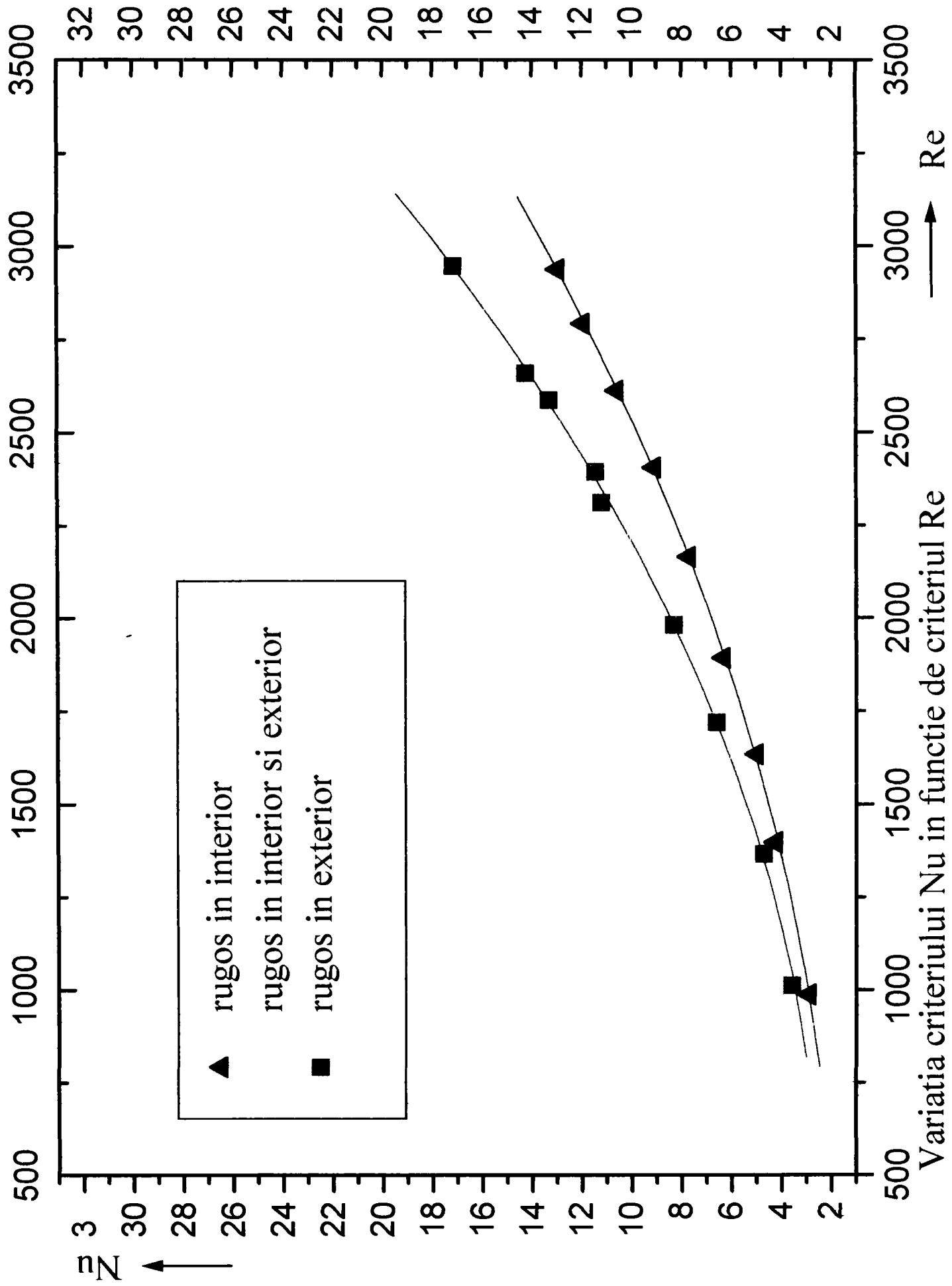


Variatia criteriului Nu
in functie de criteriul Re

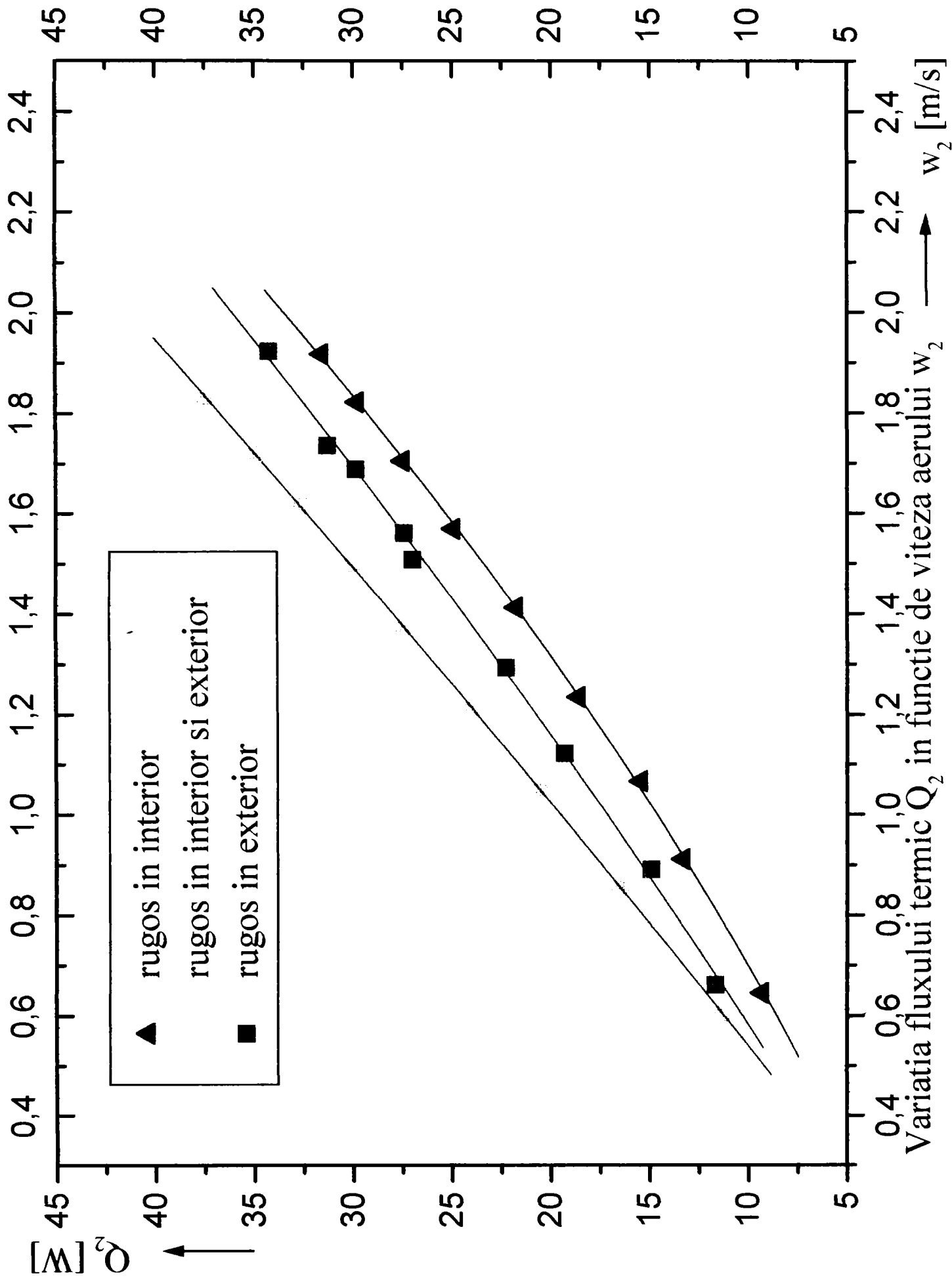


Variatia functiei Φ
in functie de criteriul χ



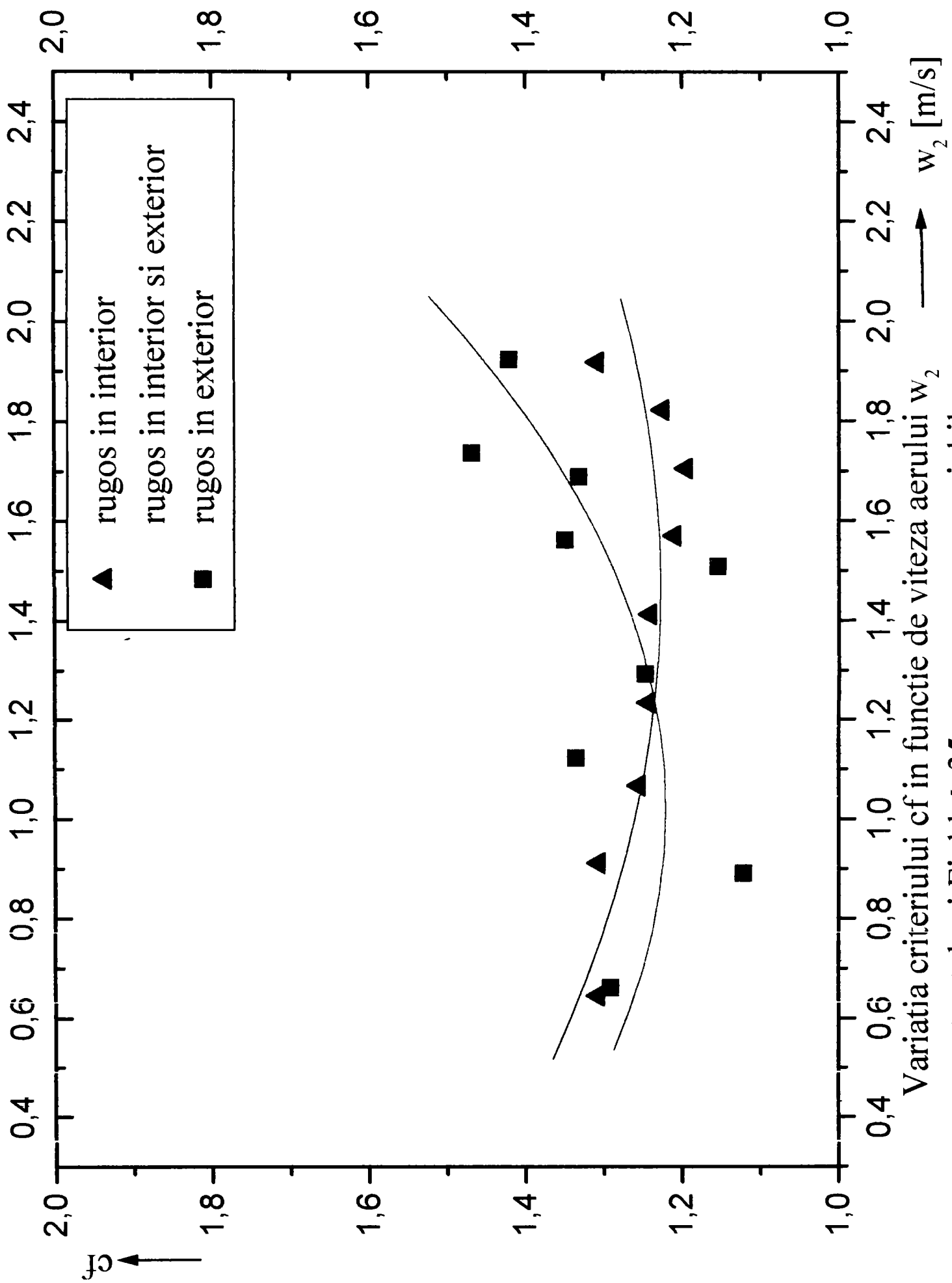


Variatia criteriului Nu in functie de criteriul Re
 pentru tuburi Field Φ 35 rugoase cu m_2 variabil

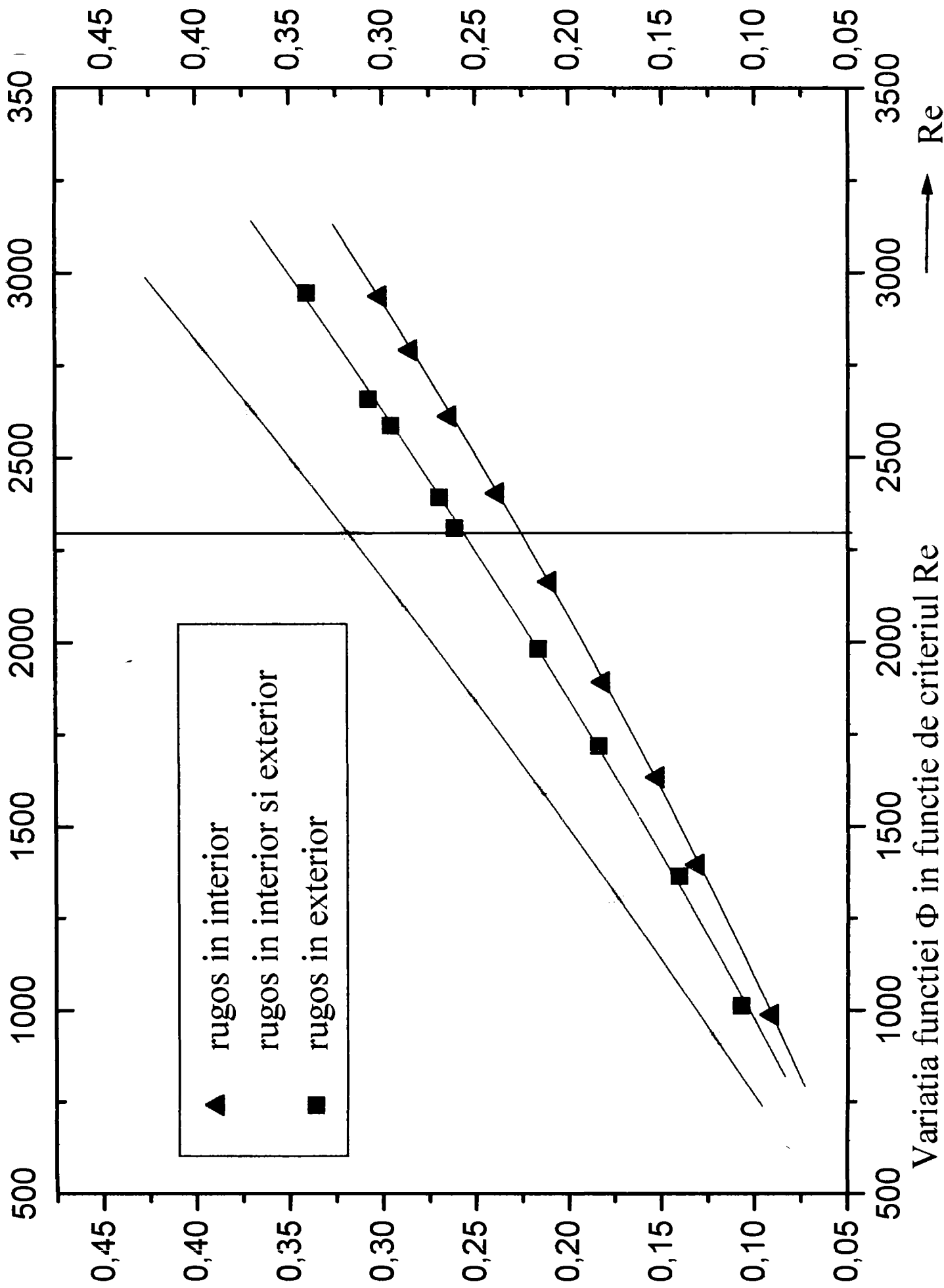


Variatia fluxului termic Q_2 in functie de viteza aerului w_2

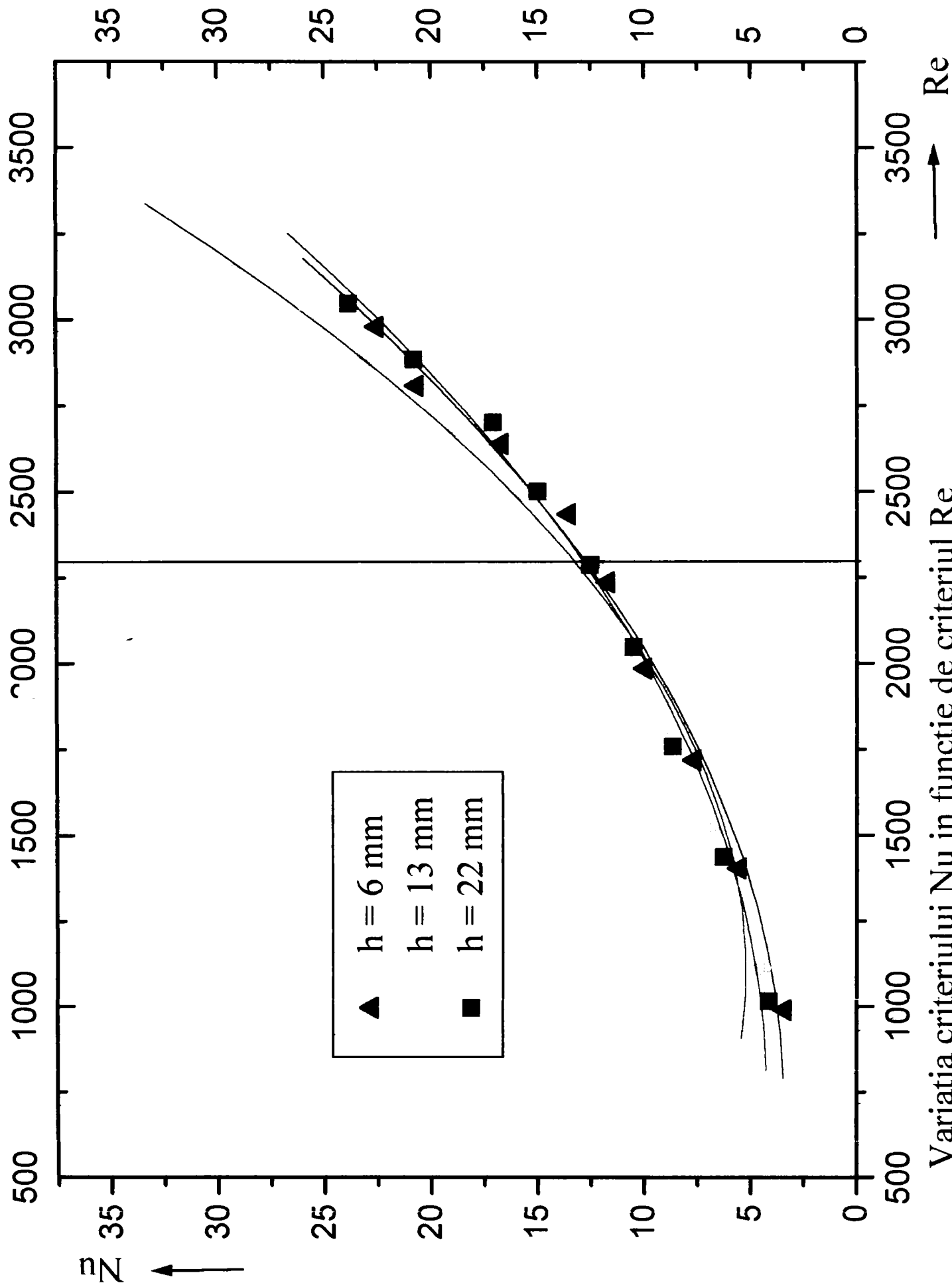
pentru tuburi Field Φ 35 rugoase cu m_2 variabil



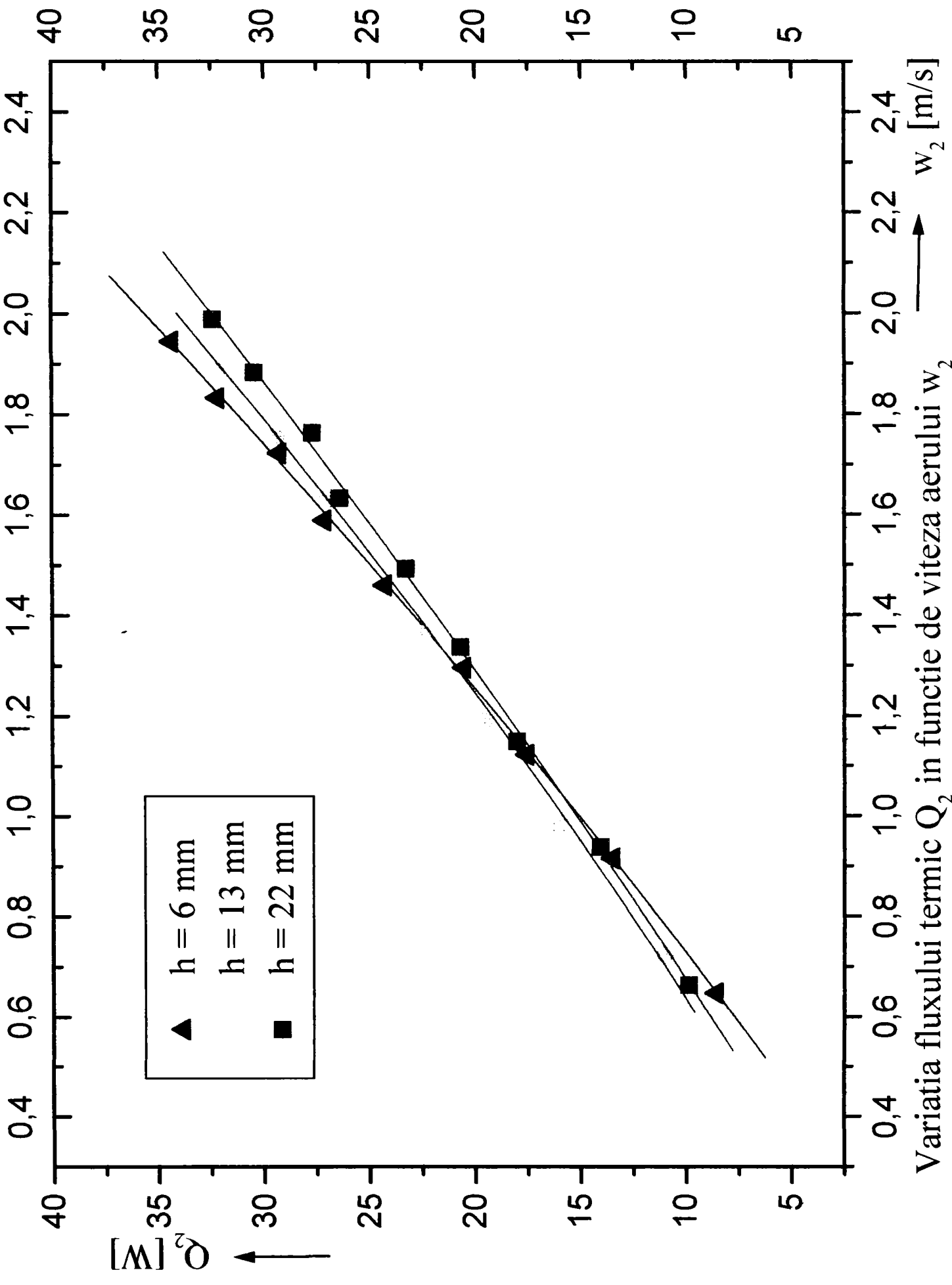
Variatia criteriului c_f in functie de viteza aerului w_2
 pentru tuburi Field Φ 35 rugoase cu m_2 variabil



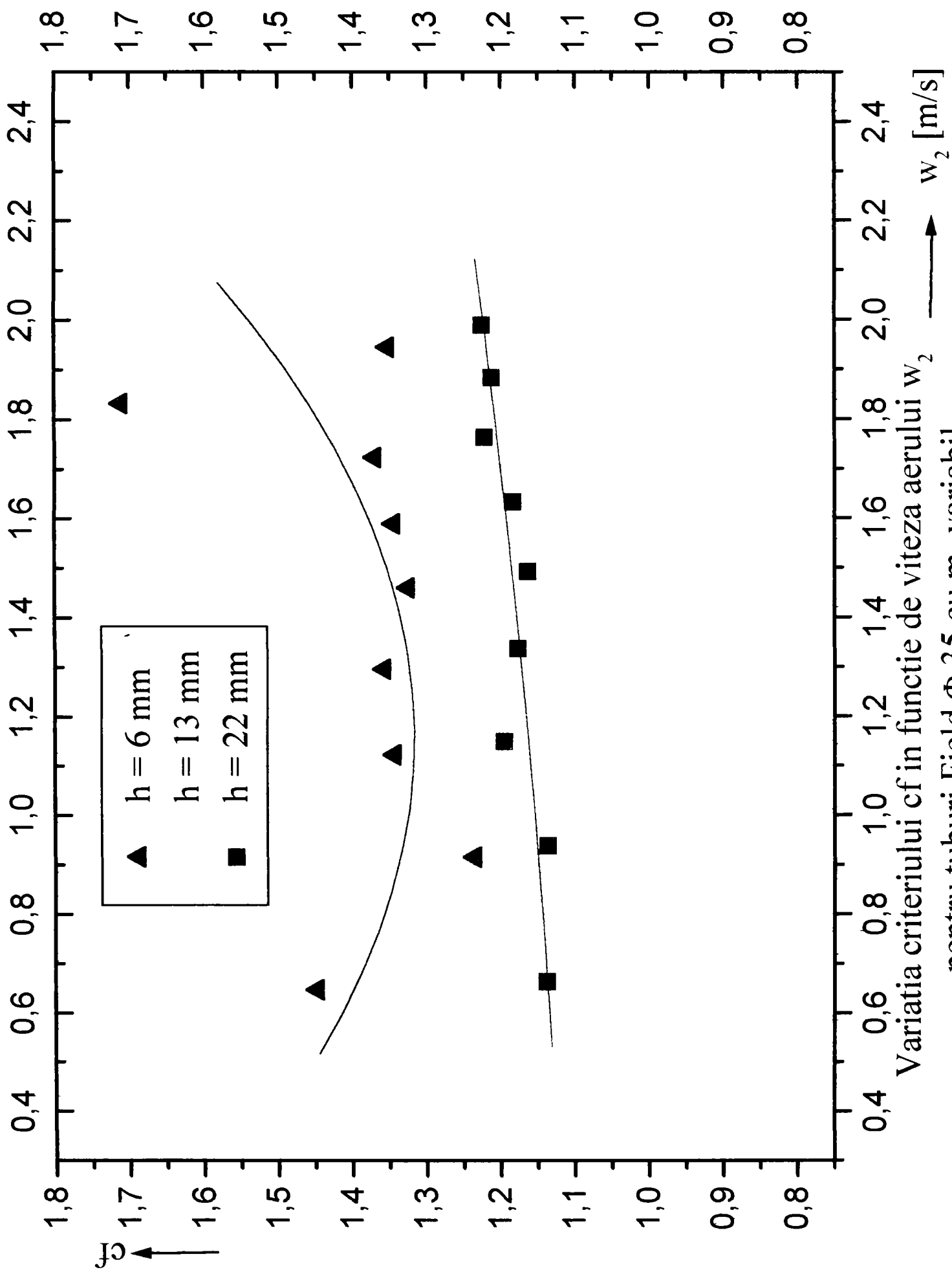
Variatia functiei Φ in functie de criteriul Re
 pentru tuburi Field Φ 35 rugoase cu m_2 variabil



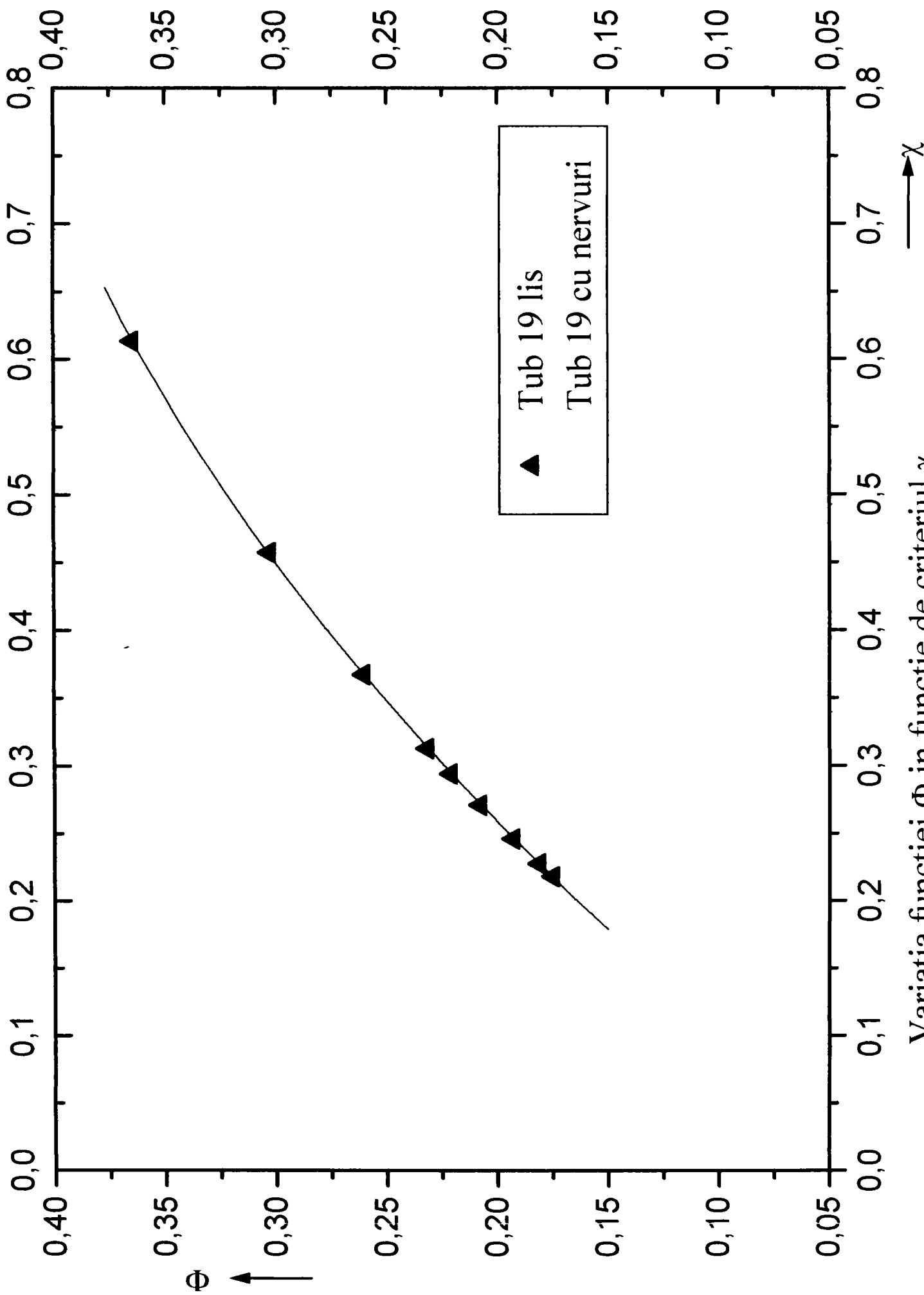
Variatia criteriului Nu in functie de criteriul Re
 pentru tuburi Field Φ 35 cu m_2 variabil



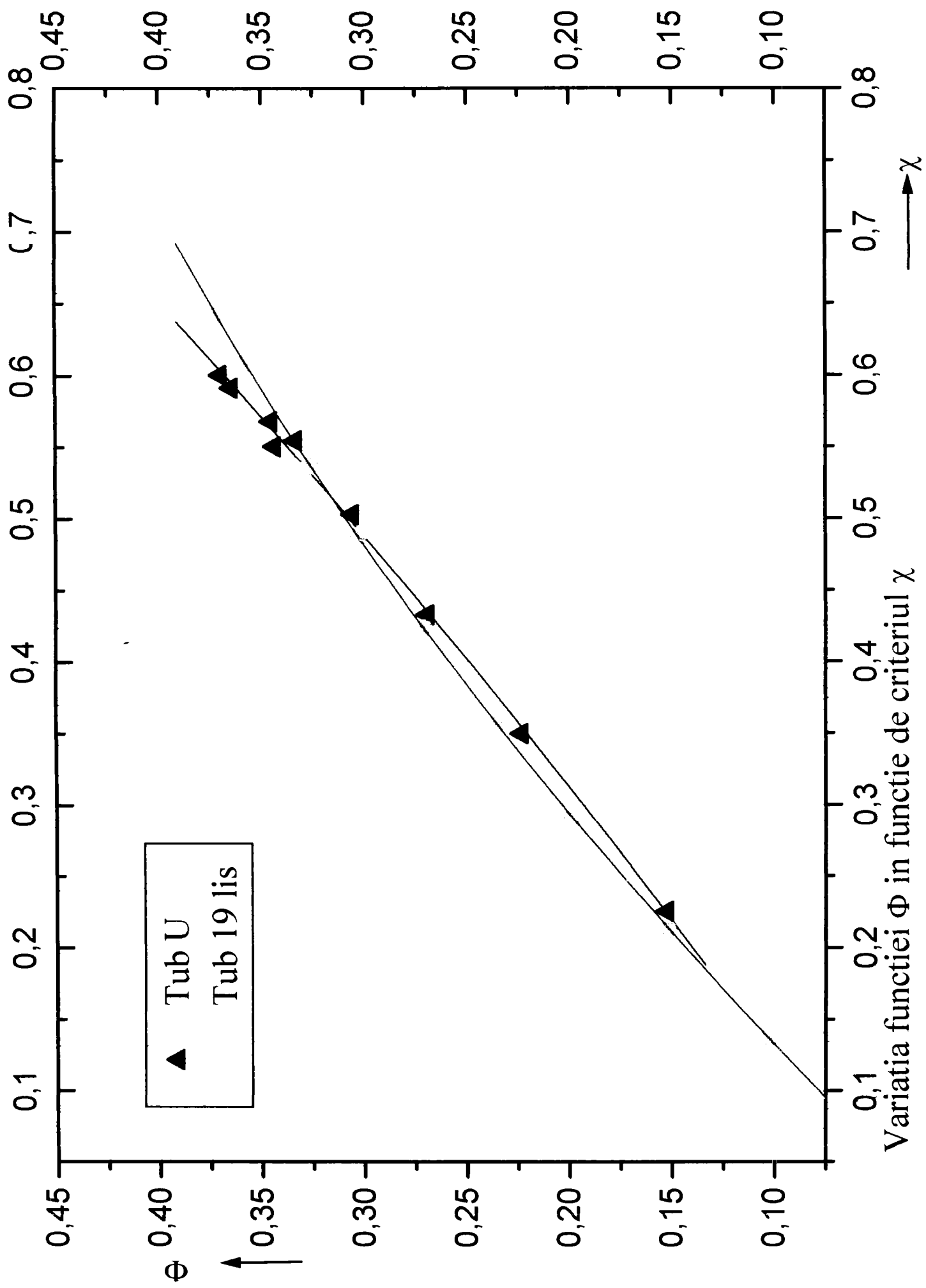
Variatia fluxului termic Q_2 in functie de viteza aerului w_2
 pentru tuburi Field Φ 35 cu m_2 variabil



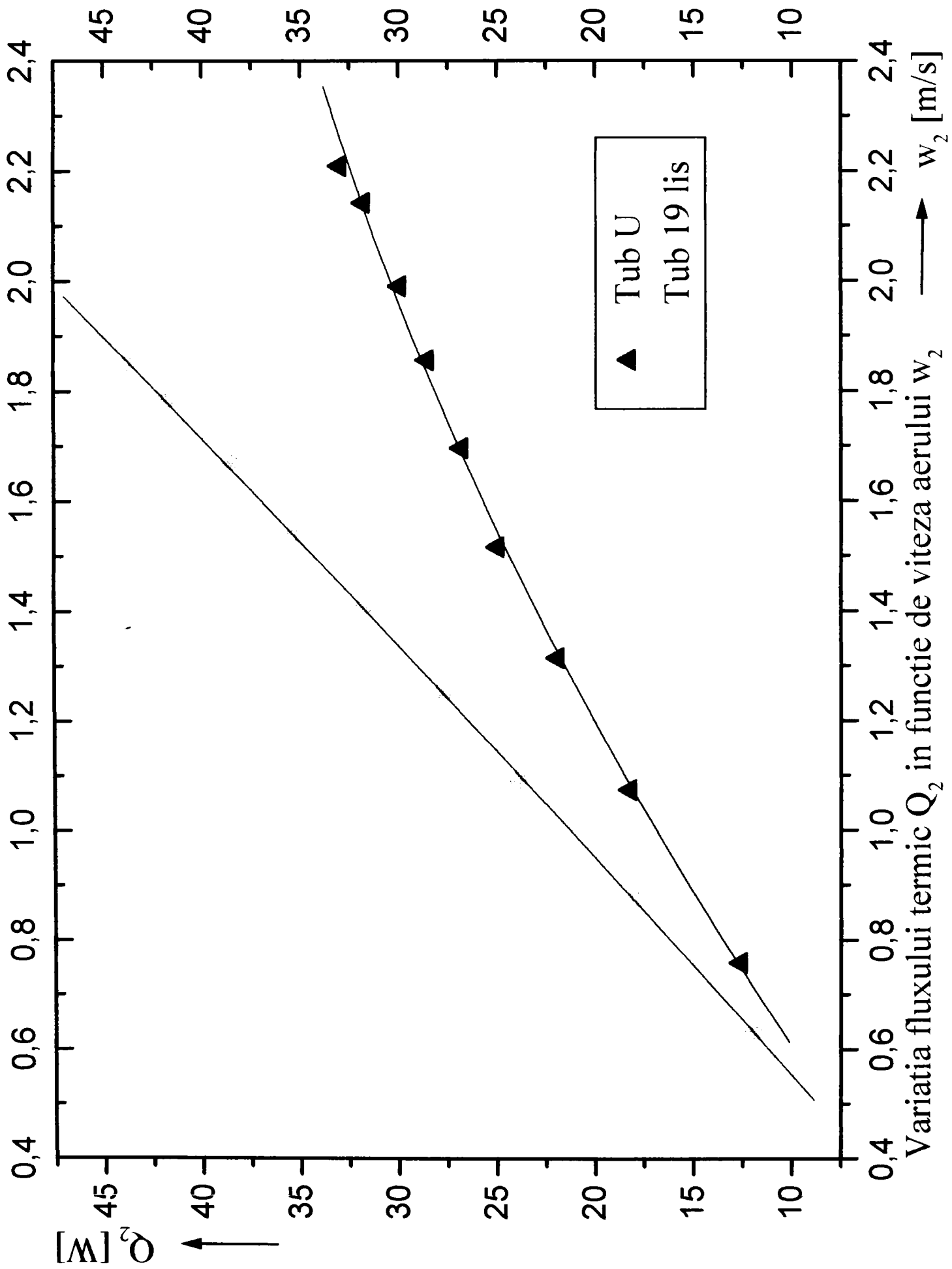
Variatia criteriului c_p in functie de viteza aerului w_2 pentru tuburi Field $\Phi 35$ cu m_2 variabil



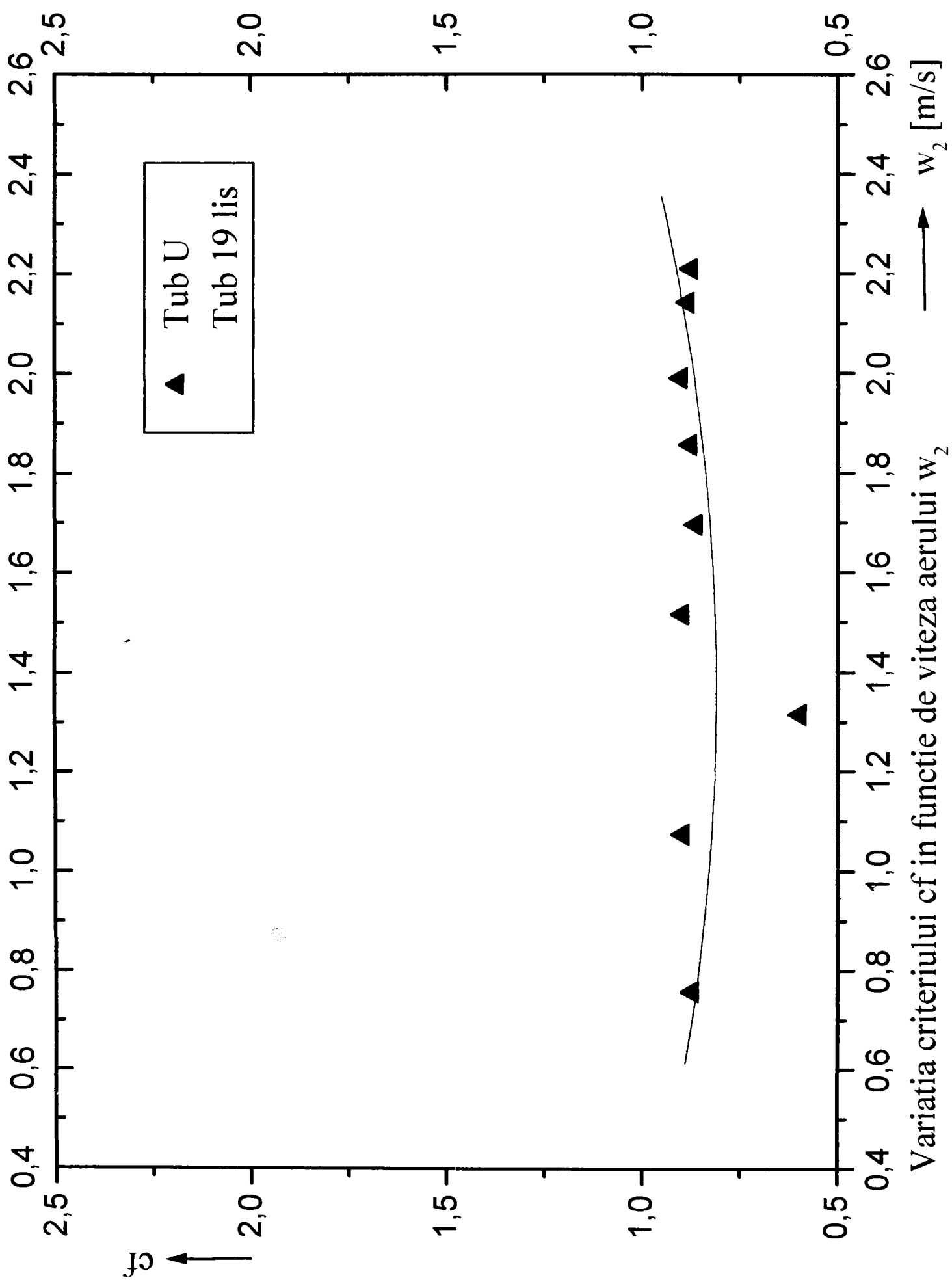
Variatia functiei Φ in functie de criteriul χ
 pentru tuburile Φ 19 lis si Φ 19 cu nervuri



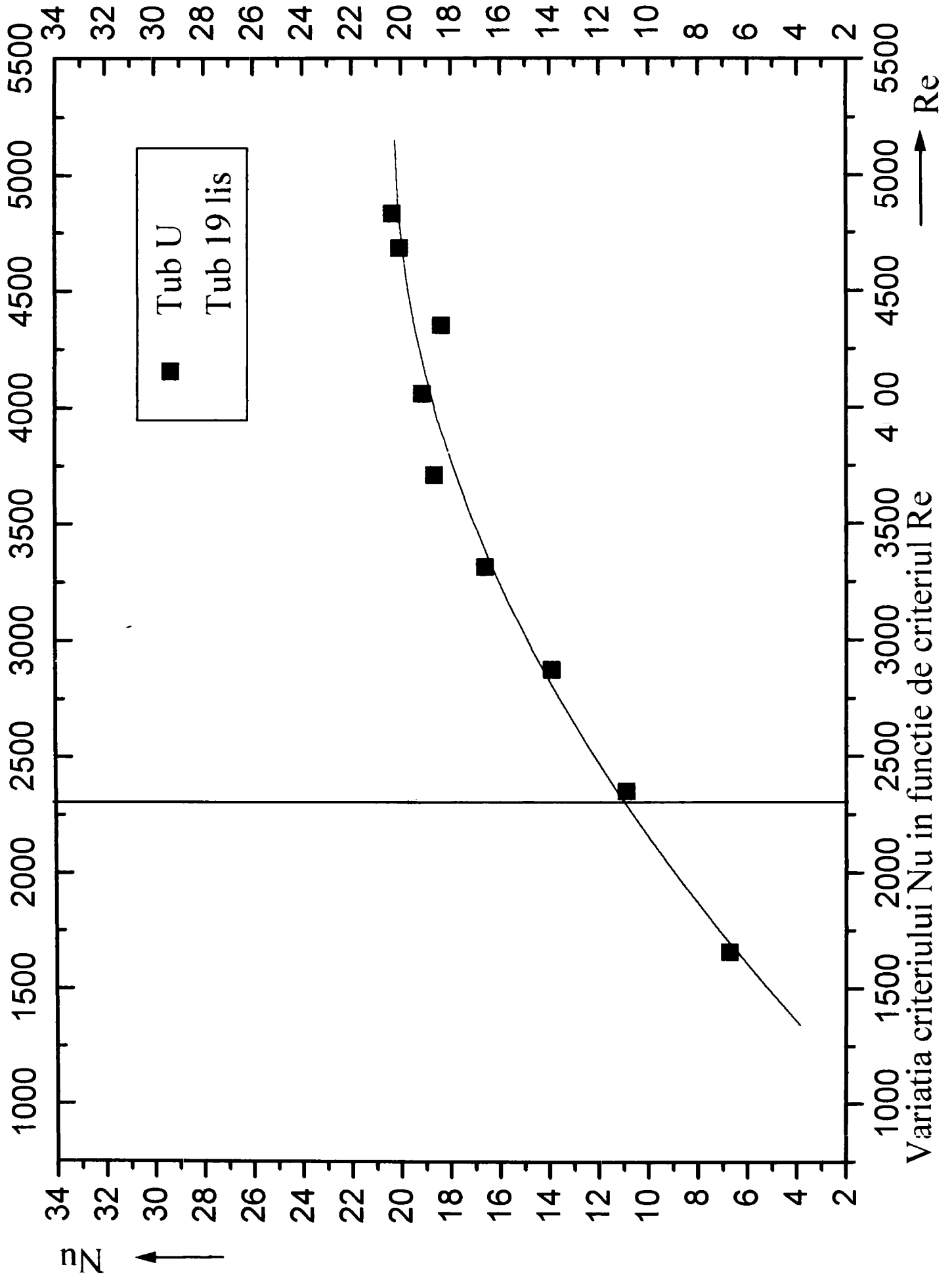
Variatia functiei Φ in functie de criteriul χ
 pentru tuburile U si Φ 19 lis



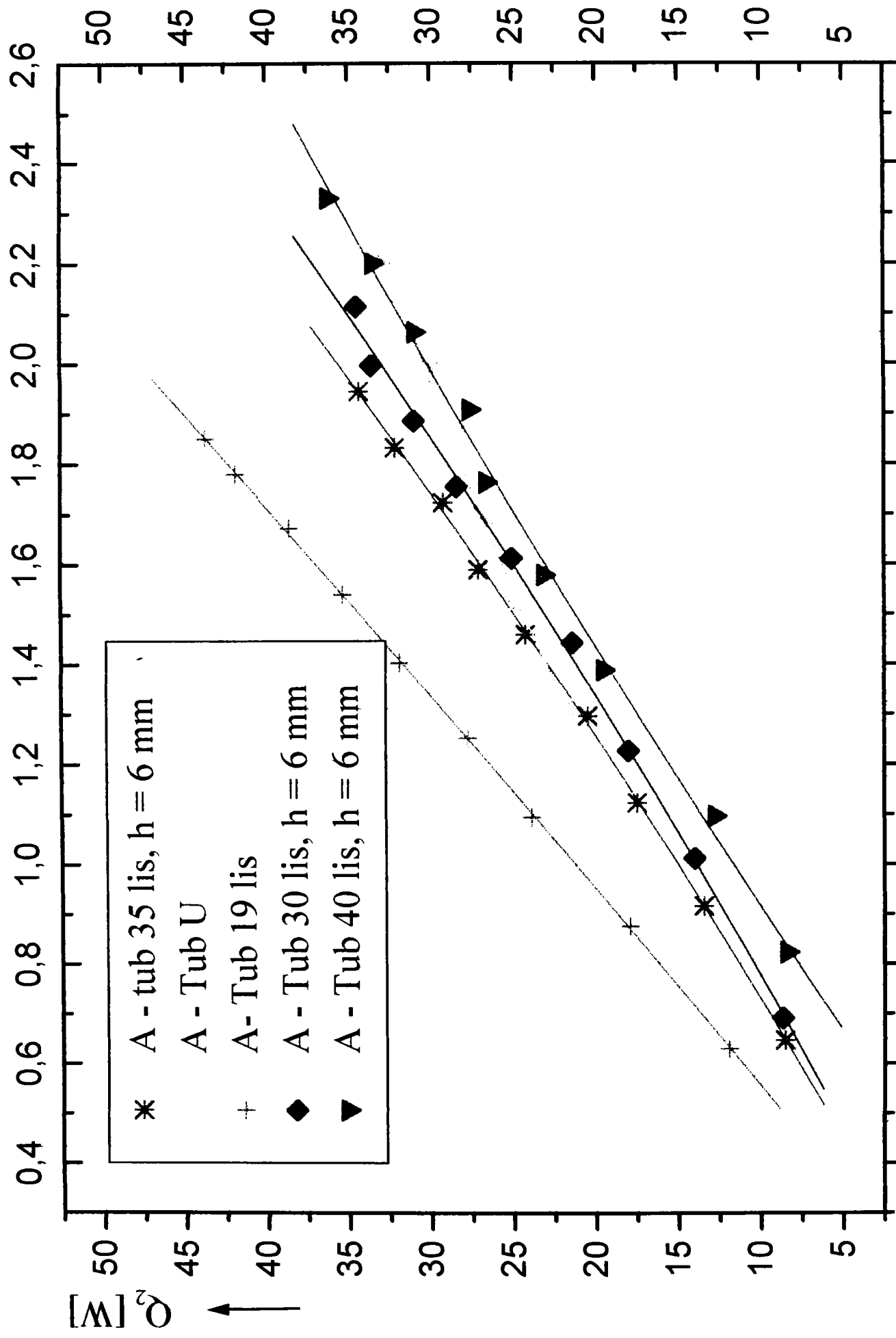
Variatia fluxului termic Q_2 in functie de viteza aerului w_2 pentru tuburile U si Φ 19 lis



Variatia criteriului c_f in functie de viteza aerului w_2
 pentru tuburile U si Φ 19 lis

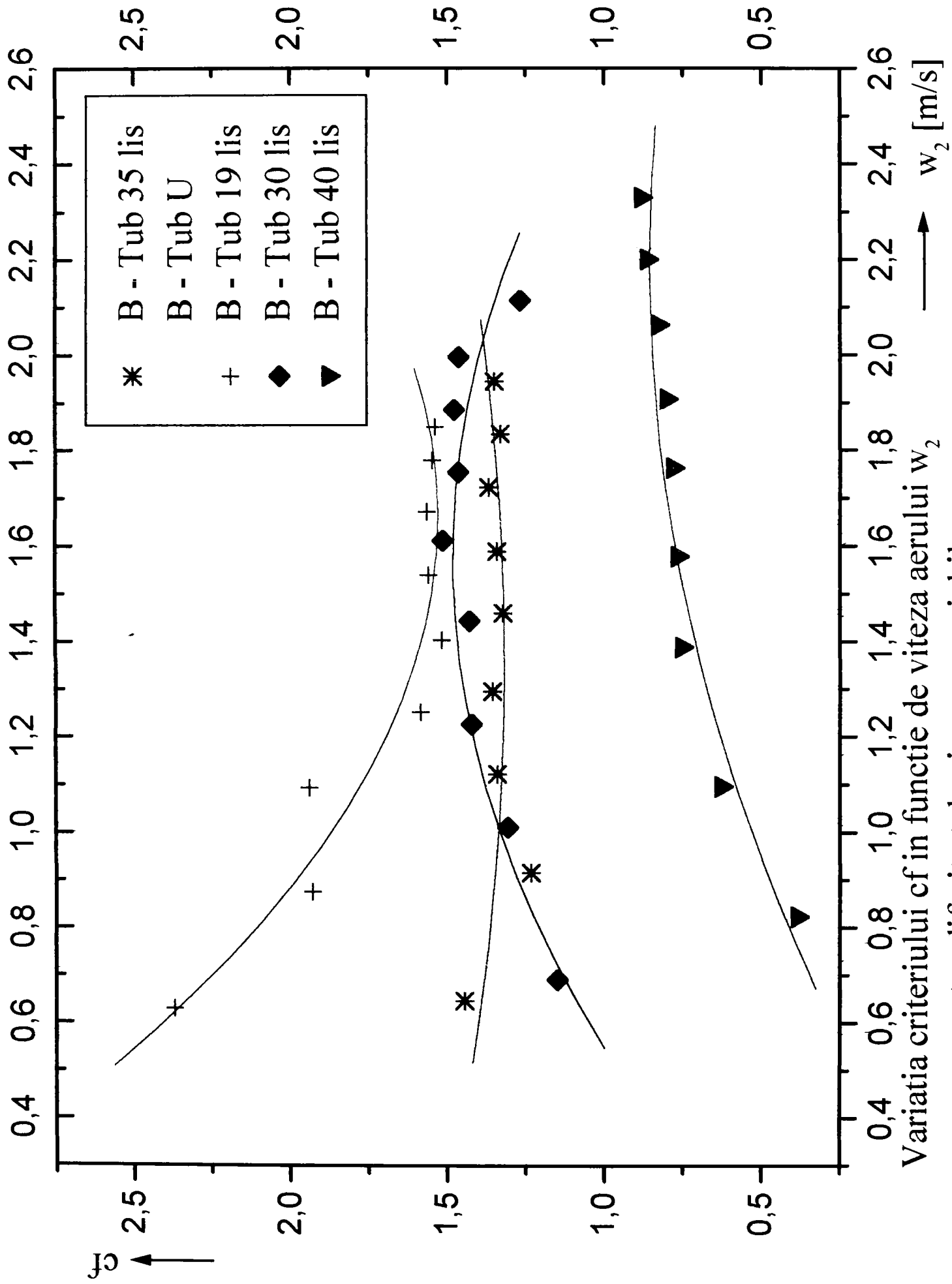


pentru tuburile U si Φ 19 lis

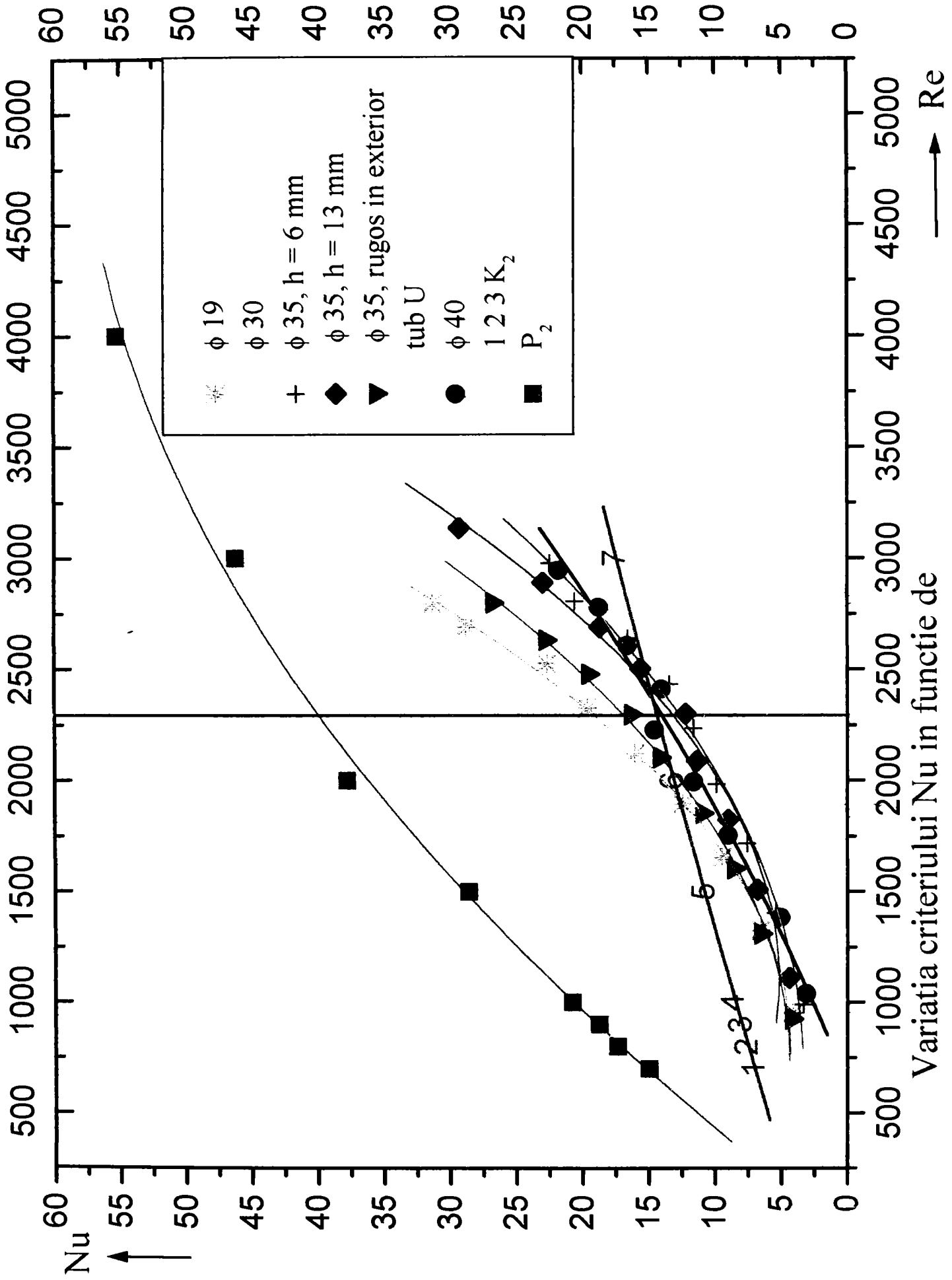


Variatia fluxului termic Q_2 in functie de viteza aerului w_2 → w_2 [m/s]

pentru diferite tuburi cu m_2 variabil



Variatia criteriului cf in functie de viteza aerului w_2 pentru diferite tuburi cu m_2 variabil



Variatia criteriului Nu in functie de criteriul Re pentru m_2 variabil