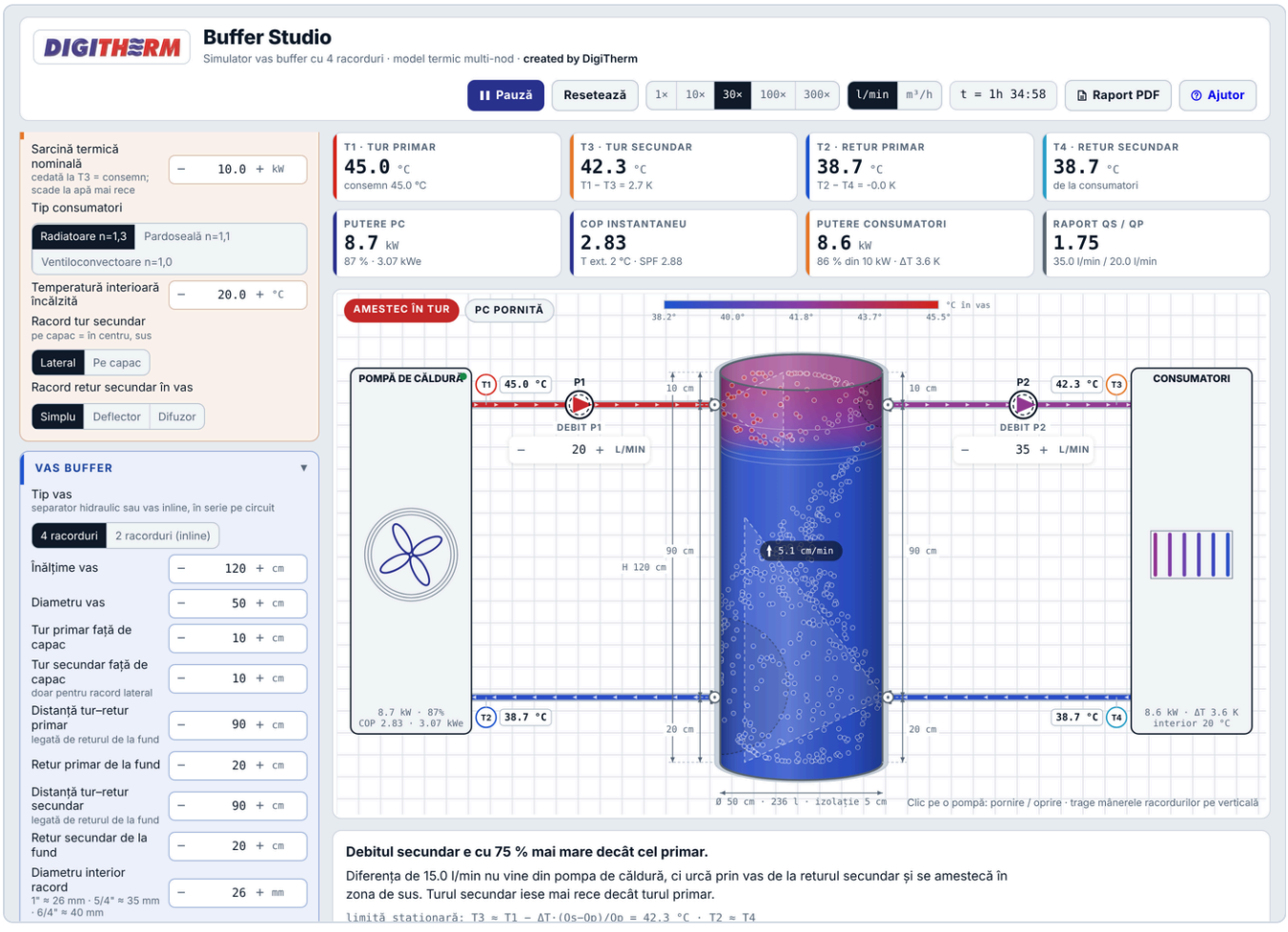
Buffer Studio
Ghid de utilizare

Simulator de vas buffer cu 4 racorduri pentru pompe de căldură
Pași de lucru, setări, citirea rezultatelor



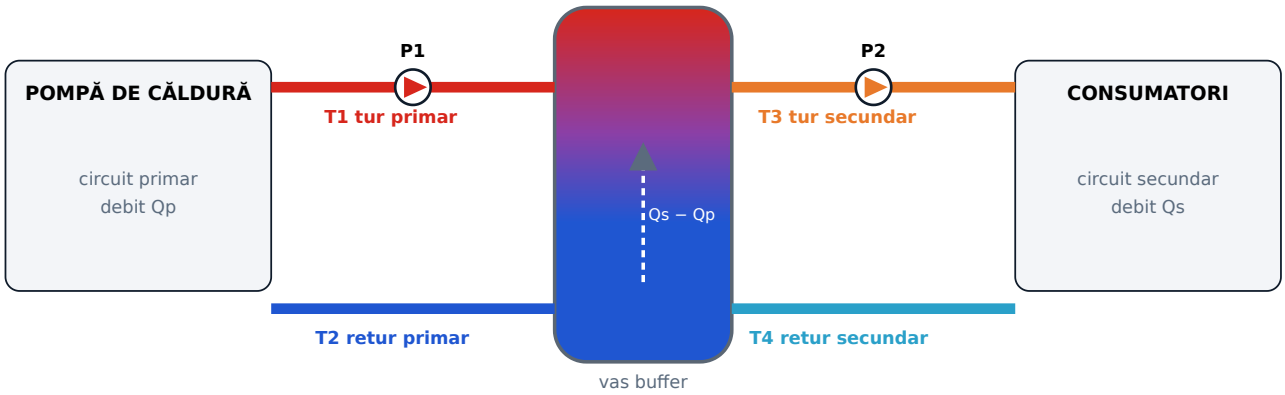
DigiTherm · Buffer Studio, model v2 · ghid versiunea 1.1 · octombrie 2026 · Aplicația rulează în browser, pe calculator sau telefon, fără instalare.

1. Ce face aplicația

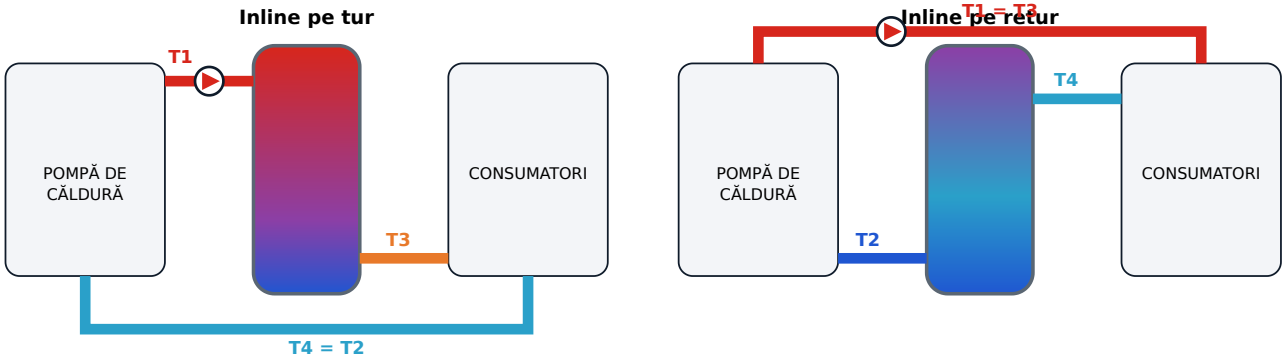
Buffer Studio simulează funcționarea unui vas buffer montat între o pompă de căldură și consumatorii de căldură, în oricare dintre cele două montaje întâlnite în practică: **separator hidraulic cu 4 racorduri** (două circuite, două pompe) sau **vas inline cu 2 racorduri** (un singur circuit, în serie pe tur sau pe retur). Modelul calculează, strat cu strat, temperatura apei din vas și arată în timp real:

- stratificarea termică și amestecul dintre apa caldă și cea rece, animat pe schema instalației;
- temperaturile T1–T4 de pe cele patru racorduri și puterile schimbate;
- comportarea pompei de căldură: modulație, porniri/opriri, degivrări, COP și consum electric;
- efectul geometriei vasului: înălțimea racordurilor, diametrul lor, tur secundar lateral sau pe capac;
- bilanțul energetic cumulat și comparația lateral vs capac rulată în paralel.

Întrebarea tipică la care răspunde: *de ce turul secundar e mai rece decât turul primar?* Răspunsul ține aproape întotdeauna de raportul dintre debitele celor două pompe, iar aplicația arată cât de mult contează fiecare factor.



Vas cu 4 racorduri: pompa de căldură alimentează vasul pe circuitul primar (P1), consumatorii trag din el pe circuitul secundar (P2). Diferența de debit Qs − Qp traversează vasul pe verticală și decide dacă apa de retur ajunge în tur.



Vas inline cu 2 racorduri: un singur circuit și o singură pompă. Pe tur, vasul stă între pompa de căldură și consumatori; pe retur, între consumatori și pompa de căldură.

2. Pornire rapidă în 6 pași

1. **Deschide aplicația.** Simularea pornește automat, cu vasul la 35 °C și pompa de căldură care urcă spre consemnul de 45 °C. Nimic nu trebuie instalat.
2. **Alege un scenariu** din panoul Scenarii (stânga sus), de exemplu *Secundar > primar*. Scenariul setează debitele, geometria și regimul pompei, apoi resetează vasul.
3. **Setează debitele pompelor** direct pe schemă, în căsuțele de sub P1 și P2. Acestea sunt parametrii cu cel mai mare efect.
4. **Ajustează instalația ta** în panoul din stânga: puterea pompei de căldură, sarcina termică, dimensiunile vasului, diametrul racordurilor. Racordurile se pot trage cu mouse-ul pe verticală direct pe vas.
5. **Accelerează timpul** din antet (1× … 300×) și urmărește indicatorii T1–T4 din bara de sus, diagnosticul de sub schemă și graficele.
6. **Compară și verifică** în filele *Lateral vs capac* și *Energie și cicluri*. Butonul Resetează readuce vasul la temperatura inițială fără să piardă setările.

> Setările se păstrează în browser între sesiuni. Dacă vrei să revii la valorile implicite, alege scenariul *Echilibrat* sau șterge datele site-ului din browser.

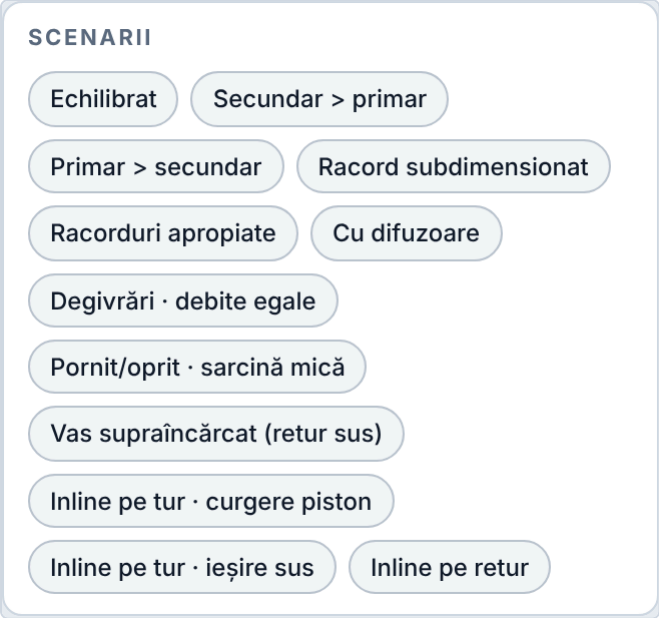
3. Antetul și comenzile de simulare



Antetul aplicației: sigla, titlul și comenzile de rulare.

Comandă	Ce face
Pauză / Pornește	Oprește sau reia curgerea timpului. În pauză poți modifica parametri și citi valori; animația rămâne pe loc.
Resetează	Readuce vasul la temperatura inițială (parametrul *Temperatură inițială vas*), turul primar la *Temperatură inițială tur*, golește istoricul și contoarele de energie. Parametrii rămân.
1× · 10× · 30× · 100× · 300×	Accelerarea timpului: câte secunde simulate trec într-o secundă reală. 300× înseamnă 5 minute simulate pe secundă; o oră de funcționare se vede în 12 secunde.
l/min · m³/h	Unitatea pentru debitele pompelor, în toate căsuțele și afișajele.
t = …	Timpul simulat scurs de la ultima resetare.
Raport PDF	Generează un raport de 3 pagini cu starea curentă: schema, indicatorii și diagnosticul, graficele, bilanțul energetic, comparația variantelor și toți parametrii. Simularea e pusă în pauză pe durata generării. Fișierul se salvează cu o confirmare; numele conține data și ora.
Ajutor	Deschide acest ghid (help.pdf) într-o filă nouă.

4. Scenariile predefinite



Fiecare scenariu încarcă un set complet de parametri și resetează vasul.

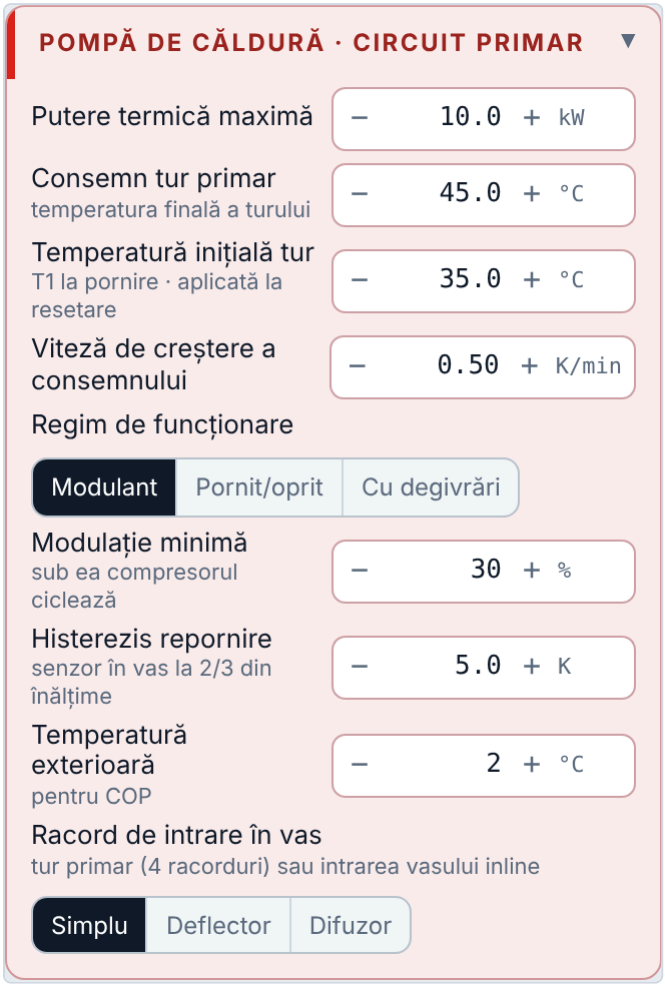
> Scenariile sunt puncte de plecare. După ce alegi unul, orice parametru poate fi modificat; schimbarea nu resetează vasul, ca să poți vedea tranziția.

Scenariu	Ce ilustrează
Echilibrat	Qp 25 / Qs 22 l/min, racord Ø32. Regimul dorit: T3 ≈ T1, retur primar rece.
Secundar > primar	Qs 35 > Qp 20 l/min. Apa de retur urcă prin vas și se amestecă în tur: T3 cu câteva grade sub T1. Cauza cea mai des întâlnită în practică.
Primar > secundar	Qp 40 > Qs 20 l/min. Turul e bun, dar surplusul cald coboară în vas și încălzește returul spre pompa de căldură: COP mai mic.
Racord subdimensionat	Racord Ø14 mm: viteză mare, jet care amestecă o zonă mare din vas.
Racorduri apropiate	Retururile la 85 cm de fund, aproape de tururi: zonele de amestec ajung în tur.
Cu difuzoare	Același racord Ø14, dar cu difuzoare la intrări: amestecul scade vizibil.
Degivrări · debite egale	Qp = Qs, tur lateral la 25 cm sub capac, degivrări de 10 min. Scenariul în care poziția turului secundar (lateral / capac) se vede cel mai clar.
Pornit/oprit · sarcină mică	Sarcină 5 kW la o pompă de 10 kW în regim on/off: cicluri de compresor și rolul vasului ca tampon.
Vas supraîncărcat (retur sus)	Returul primar la 80 cm de fund: volumul util scade, compresorul pornește de 3–4 ori mai des.
Inline pe tur · curgere piston	Vas cu 2 racorduri în serie pe tur, intrarea sus și ieșirea jos: tot volumul e străbătut, T3 urcă cu întârziere la pornire.
Inline pe tur · ieșire sus	Același vas, cu ieșirea la 20 cm sub capac: vasul e scurtcircuitat, cea mai mare parte a volumului rămâne volum mort.
Inline pe retur	Vas cu 2 racorduri pe retur: consumatorii primesc direct T1, vasul netezește returul spre pompa de căldură.

5. Panoul de parametri

Parametrii sunt grupați în patru casete colorate, pliabile din titlu. Fiecare valoare se poate tasta, modifica din butoanele − / + (ținute apăsat, repetă) sau cu săgețile ↑ ↓ din tastatură. Modificările se aplică imediat în simulare.

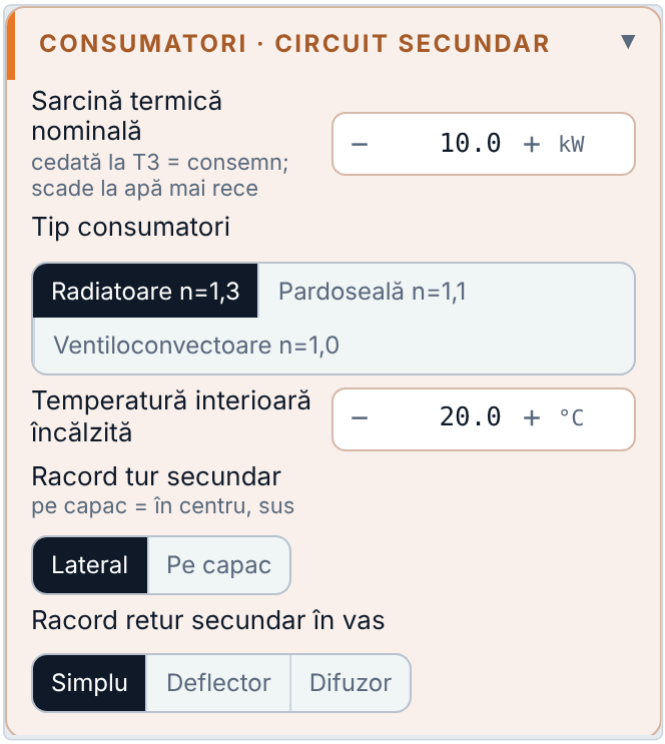
Pompă de căldură · circuit primar



Parametru	Semnificație
Putere termică maximă	Puterea pompei de căldură [kW]. Limitează diferența T1 − T2 la debitul P1: $\Delta T = P/(\dot{m}\cdot c_p)$.
Consemn tur primar	Temperatura de tur spre care tinde pompa de căldură.
Temperatură inițială tur	T1 la pornire (la resetare). Consemnul urcă de aici.
Viteză de creștere a consemnului	Cât de repede urcă consemnul [K/min], de la temperatura inițială la cea finală.
Regim de funcționare	**Modulant**: puterea urmărește cererea; **Pornit/oprit**: putere fixă cu histerezis; **Cu degivrări**: modulant plus degivrări periodice (ciclu invers, extrage căldură din apă).
Modulație minimă	Sub acest procent compresorul nu poate coborî și funcționează ciclic.
Histerezis repornire	Compresorul repornește când senzorul din vas (la 2/3 din înălțime) scade sub consemn − histerezis.
Interval / durată degivrare	Doar în regimul cu degivrări.
Temperatură exterioară	Folosită pentru COP: cu cât e mai frig afară, cu atât consumul electric e mai mare.
Racord tur primar în vas	Simplu, deflector sau difuzor. Reduce viteza jetului și amestecul.

Debitul pompei P1 se setează pe schemă, sub pompă.

Consumatori · circuit secundar



Parametru	Semnificație
Sarcină termică nominală	Puterea cedată de consumatori [kW] când turul secundar e la consemn. La apă mai rece, radiatoarele cedează mai puțin (curba de emisie EN 442), deci sarcina scade singură.
Tip consumatori	Exponentul curbei de emisie: radiatoare 1,3; pardoseală 1,1; ventiloconvectoare 1,0.
Temperatură interioară încălzită	Temperatura camerelor deservite; intră în curba de emisie.
Racord tur secundar	**Lateral** (pe manta, la distanța setată de capac) sau **Pe capac** (în centrul capacului, extrage din stratul cel mai cald).
Racord retur secundar în vas	Simplu, deflector sau difuzor la intrarea apei reci.

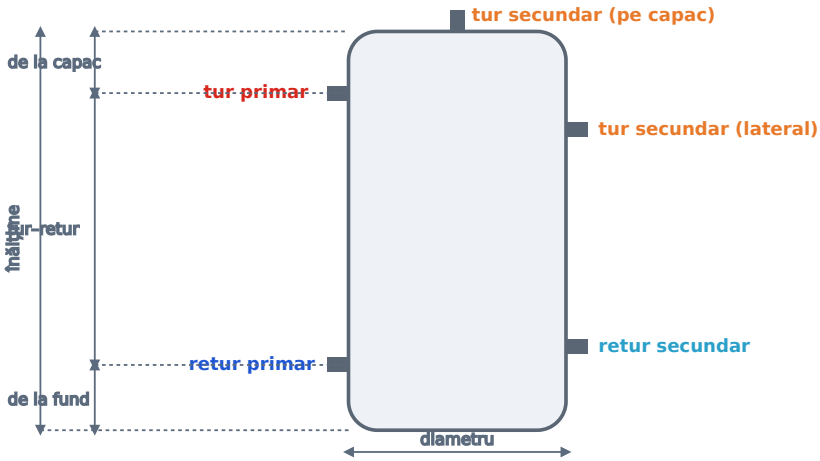
Debitul pompei P2 se setează pe schemă, sub pompă. ΔT-ul tur–retur nu se setează: rezultă din sarcină și debit ($\Delta T = P/(\dot{m}\cdot c_p)$) și apare în fila Grafice, sub *ΔT nominal secundar*.

Vas buffer



Parametru	Semnificație
Tip vas	**4 racorduri** (separator hidraulic, două circuite) sau **2 racorduri (inline)**, în serie pe un singur circuit. Alegerea schimbă schema, parametrii afișați și comparația din fila a doua.
Montaj vas inline	Doar pentru 2 racorduri: **Pe tur** (pompa de căldură → vas → consumatori) sau **Pe retur** (consumatori → vas → pompa de căldură).
Înălțime · Diametru	Dimensiunile interioare ale vasului; volumul apare pe schemă.
Intrare față de capac · Ieșire de la fund	Doar pentru 2 racorduri: pozițiile celor două racorduri. Intrare sus și ieșire jos = curgere piston (tot volumul străbătut); ambele sus = scurtcircuit.
Tur primar față de capac	Distanța de la capac la axa racordului de tur primar.
Tur secundar față de capac	La fel, pentru turul secundar lateral (dispare când turul e pe capac).
Distanță tur–retur primar / secundar	Distanța pe verticală între tur și retur pe același circuit.
Retur primar / secundar de la fund	Distanța de la fundul vasului la axa racordului de retur.
Diametru interior racord	Determină viteza apei la intrare și deci intensitatea jetului. 1" ≈ 26 mm, 5/4" ≈ 35 mm, 6/4" ≈ 40 mm.
Grosime izolație · Temperatură cameră tehnică	Pierderile termice ale vasului.

> Cele trei cote de pe verticală sunt legate: **înălțime = distanță de la capac + distanță tur–retur + distanță de la fund**. Când modifici distanța tur–retur se recalculează distanța de la fund și invers; când modifici înălțimea sau poziția turului, returul rămâne la aceeași cotă față de fund, ca un racord sudat pe manta.



Cotele racordurilor la vasul cu 4 racorduri: aceleași mărimi pe circuitul primar (stânga) și pe cel secundar (dreapta). Turul pe capac e fixat în centru.



Panoul Vas buffer când e ales vasul cu 2 racorduri: rămân doar pozițiile intrării și ieșirii.

> La vasul inline, debitul circuitului se setează sub pompa unică de pe schemă (căsuța *Debit circuit*). Parametrii pompei P2, racordul turului secundar și difuzorul returului secundar nu se mai afișează, pentru că nu există un al doilea circuit.

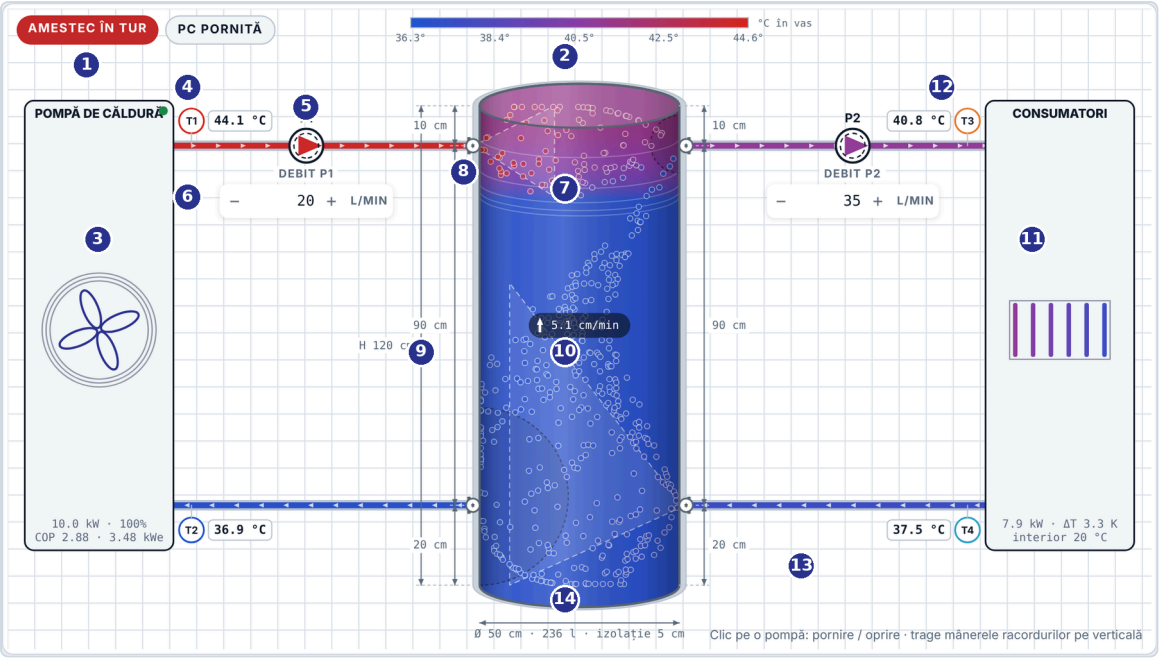
Simulare



Parametru	Semnificație
Temperatură inițială vas	Temperatura uniformă a apei din vas la resetare; este și temperatura turului secundar la pornire.

6. Schema instalației

Schema este centrul aplicației. Totul de pe ea se actualizează în timp real, iar câteva elemente sunt interactive.

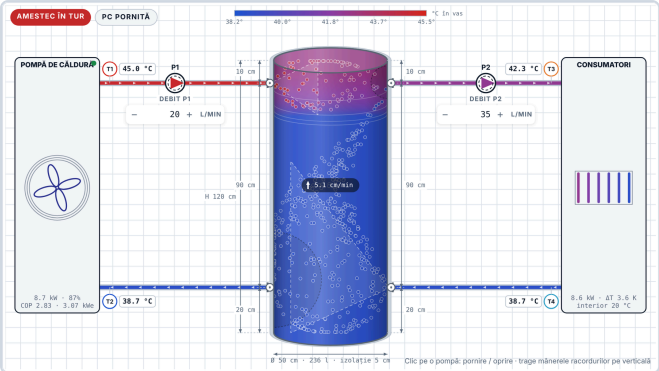


Elementele schemei (numerotate mai jos). Scenariul afișat: Secundar > primar.

1. **Stare:** regimul detectat (Echilibrat, Amestec în tur, Retur cald, Încărcare, Descărcare) și starea pompei de căldură (pornită, ciclează, degivrare, oprită).
2. **Bara de culori:** corespondența culoare–temperatură. Scala se adaptează automat la plaja de temperaturi din vas; roșu = cald, albastru = rece.
3. **Pompa de căldură:** ventilatorul se rotește când compresorul merge; LED-ul din colț e verde (pornită), albastru (degivrare) sau gri (oprită). Sub ventilator: puterea, gradul de modulație, COP și puterea electrică.
4. **Senzorii T1–T4:** temperatura de pe fiecare racord, în culoarea seriei din grafice.
5. **Pompele P1 și P2:** clic pe pompă o pornește sau o oprește. Triunghiul arată sensul de refulare.
6. **Debitul pompei:** căsuță editabilă direct sub pompă, în unitatea aleasă din antet.
7. **Zona de amestec a jetului:** pana albă punctată de la fiecare intrare arată cât din vas amestecă jetul. Depinde de viteza în racord și de diferența de temperatură.
8. **Mânerele racordurilor:** cercurile cu săgeți de pe manta. Se trag pe verticală cu mouse-ul sau cu degetul; căsuțele din panoul Vas buffer se actualizează.
9. **Cotele:** înălțimea vasului și pozițiile racordurilor, ca pe un desen tehnic.
10. **Curgerea verticală netă:** sensul și viteza apei care traversează vasul între racorduri. În sus = apa de retur urcă spre tur (Qs > Qp); în jos = apa caldă coboară spre returul primar (Qp > Qs).
11. **Consumatorii:** radiatoare colorate după temperatură; dedesubt, puterea cedată, ΔT-ul și temperatura interioară.
12. **T3 și T4** pe circuitul secundar, cu conducta de tur colorată după temperatura reală.
13. **Zonele de extracție:** semicercurile gri punctate de la ieșiri arată din ce straturi trage fiecare racord de ieșire.
14. **Diametrul, volumul și izolația** vasului.

Particulele colorate din vas urmăresc traseul apei: intră pe tur primar (sus, stânga) și pe retur secundar (jos, dreapta), ies prin retur primar și tur secundar. Își schimbă culoarea pe măsură ce se amestecă cu apa din jur. Chevroanele de pe conducte arată sensul curgerii.

Tur secundar pe capac



Cu racordul pe capac, conducta de tur secundar pleacă din centrul capacului; nu are mâner de tragere, iar cota față de capac dispare din panou.

Comutarea se face din *Consumatori → Racord tur secundar* (doar la vasul cu 4 racorduri). Simularea ține cont de topologie: racordul de pe capac extrage doar din stratul de sub el (cel mai cald), cel lateral și din apa de deasupra, și de dedesubt.

În regim staționar, cele două poziții dau aproape aceeași temperatură de tur, pentru că bilanțul de debite fixează rezultatul. Diferența apare în regim tranzitoriu, la degivrare sau la oprirea compresorului, când volumul de apă caldă de deasupra racordului lateral devine rezervă pentru turul de pe capac. Fila *Lateral vs capac* măsoară exact această diferență.

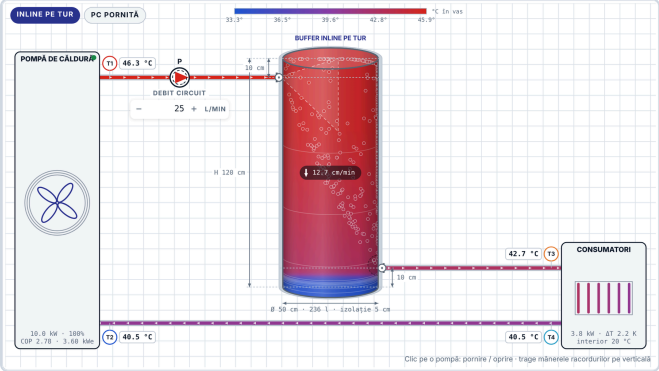
Tragerea racordurilor

1. Du cursorul pe mânerul racordului (cercul cu săgeți de pe manta); cursorul devine ↕ și mânerul se colorează.
2. Trage pe verticală. Poziția se schimbă în pași de 1 cm; simularea continuă în timpul tragerii.
3. Eliberează. Valorile din *Vas buffer* (de la capac, tur–retur, de la fund) sunt deja actualizate.

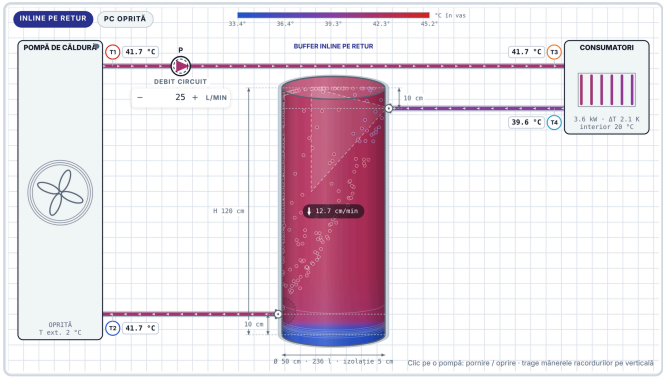
Limite respectate automat: minimum 3 cm față de capac sau fund și minimum 10 cm între tur și retur pe același circuit.

6b. Vasul buffer inline (2 racorduri)

Unii instalatori montează vasul în serie pe circuit, cu o singură intrare și o singură ieșire. Nu mai există două circuite care se amestecă; vasul lucrează ca masă termică și ca filtru de temperatură. Alege *Vas buffer → Tip vas → 2 racorduri (inline)*, apoi montajul.



Pe tur: pompa de căldură → vas → consumatori. Returul consumatorilor se întoarce direct în pompa de căldură, pe conducta de jos (T2 = T4).



Pe retur: pompa de căldură → consumatori, pe conducta de sus (T3 = T1); returul consumatorilor trece prin vas înainte de a ajunge la pompa de căldură.

Montaj	Ce face vasul	Când se preferă
Pe tur	Netezește temperatura de tur și adaugă rezervă de apă caldă între pompa de căldură și consumatori. La pornire, consumatorii primesc întâi apa din vas, deci T3 urcă cu întârziere; la oprirea compresorului, rezerva alimentează consumatorii un timp.	Consumatori sensibili la variații de tur (ventiloconvectoare, radiatoare cu termostate) și instalații cu degivrări dese.
Pe retur	Consumatorii primesc imediat temperatura de tur. Vasul stochează apa de retur și netezește temperatura care intră în pompa de căldură; masa termică lungește ciclurile compresorului.	Protecția compresorului la sarcini mici (anti-ciclare) și pentru degivrare (rezervă de căldură pe retur), cu răspuns rapid pe tur.

Pozițiile racordurilor

- **Intrare sus, ieșire jos (curgere piston):** tot volumul e străbătut. Cea mai mare inerție și cel mai bun efect anti-ciclare, dar și cea mai mare întârziere pe tur.
- **Intrare și ieșire sus:** vasul e scurtcircuitat; doar apa dintre racorduri circulă, restul e volum mort care participă doar prin convecție. Răspuns rapid, efect de tampon mic.
- Racordurile se trag pe verticală cu mouse-ul, ca la vasul cu 4 racorduri; cotele *Intrare față de capac* și *Ieșire de la fund* se actualizează.

VAS INLINE PE TUR VS PE RETUR

aceeași instalație simulată în paralel; doar poziția vasului în circuit diferă

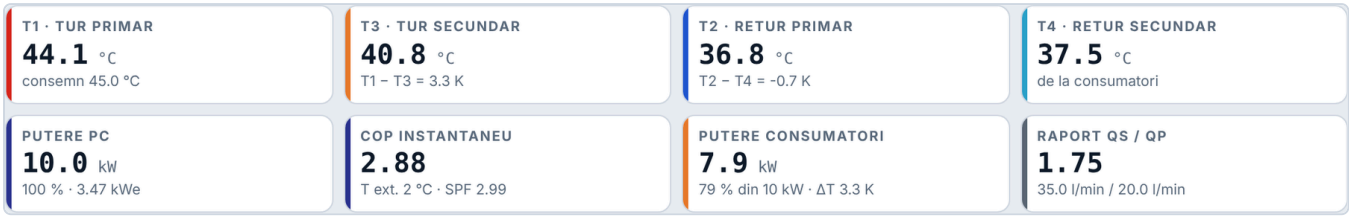
	PE TUR · în schemă	PE RETUR	RETUR − TUR
T3 acum	44.14 °C	41.30 °C	−2.84 K
T3 mediu · ultimele 37 min	37.65 °C	40.30 °C	+2.65 K
T3 minim	33.91 °C	33.99 °C	+0.08 K
Timp cu T3 sub 42.0 °C	29.6 min	24.2 min	−5.4 min
Energie la consumatori	1.74 kWh	2.10 kWh	+0.36 kWh
Porniri compresor	1	1	+0

Varianta pe tur livrează acum un tur spre consumatori cu 2.84 K mai cald.

Fila de comparație devine *Pe tur vs pe retur*: aceeași instalație e simulată în paralel cu vasul în cealaltă poziție.

> Diagnosticul de sub schemă arată volumul străbătut, volumul mort de sub racordul inferior și întârzierea de pornire. Indicatorul *Raport Qs/Qp* devine *Debit circuit*, pentru că există un singur debit.

7. Indicatorii și diagnosticul



Bara de indicatori de deasupra schemei.

Indicator	Citire
T1 · Tur primar	Temperatura livrată de pompa de căldură; dedesubt, consemnul curent.
T3 · Tur secundar	Temperatura spre consumatori. Dedesubt, **T1 − T3**: peste 1–2 K înseamnă amestec cu apa de retur.
T2 · Retur primar	Temperatura spre pompa de căldură. Dedesubt, **T2 − T4**: pozitiv mare înseamnă că apa caldă ajunge în returul primar.
T4 · Retur secundar	Temperatura de la consumatori.
Putere PC	Puterea termică livrată, gradul de modulație și puterea electrică absorbită.
COP instantaneu	Raportul termic/electric la momentul curent; dedesubt, SPF-ul cumulat de la resetare.
Putere consumatori	Cât cedează efectiv consumatorii, în procente din sarcina nominală, și ΔT-ul real.
Raport Qs / Qp	Debit secundar împărțit la debit primar. Țința: 0,85–1,0. La vasul inline, indicatorul devine *Debit circuit*.

Debitul secundar e cu 75 % mai mare decât cel primar.

Diferența de 15.0 l/min nu vine din pompa de căldură, ci urcă prin vas de la returul secundar și se amestecă în zona de sus. Turul secundar iese mai rece decât turul primar.

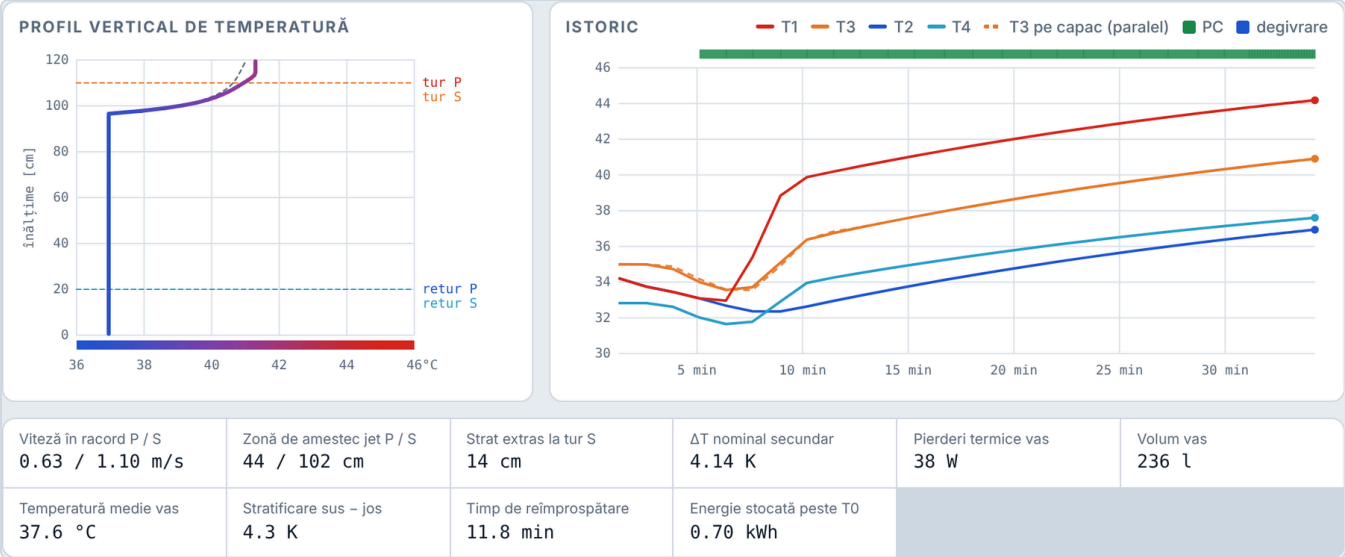
`limită staționară: T3 ≈ T1 − ΔT·(Qs−Qp)/Qp = 42.5 °C · T2 ≈ T4`

- Reduce treapta pompei P2 sau crește debitul P1 până când Qs ≤ Qp.
- Deasupra racordurilor laterale de tur rămân ~20 l de apă caldă care nu participă la circulație.
- Viteză de 1.10 m/s în racord: jetul amestecă o zonă mare. Un racord mai mare, un deflector sau un difuzor reduc amestecul.
- Zona de amestec a returului secundar ajunge aproape de turul secundar; apa rece intră direct în tur.

Diagnosticul de sub schemă: regimul detectat, explicația, limita staționară calculată din bilanț și recomandări.

8. Filele de analiză

Grafice



Viteză în racord P / S	Zonă de amestec jet P / S	Strat extras la tur S	ΔT nominal secundar	Pierderi termice vas	Volum vas
0.63 / 1.10 m/s	44 / 102 cm	14 cm	4.14 K	38 W	236 l
Temperatură medie vas	**Stratificare sus – jos**	**Timp de reîmprospătare**	**Energie stocată peste T0**		
37.6 °C	4.3 K	11.8 min	0.70 kWh		

- **Profil vertical:** temperatura pe înălțimea vasului. Liniile punctate colorate marchează cotele racordurilor; linia gri punctată e profilul variantei paralele (lateral sau capac).
- **Istoric:** T1–T4 în timp; T3 al variantei paralele apare punctat portocaliu. Banda de sus arată starea compresorului: verde pornit, albastru degivrare, gol oprit.
- **Valorile de sub grafice:** viteza în racorduri, lungimea zonelor de amestec, stratul extras, ΔT nominal, pierderi, volum, temperatura medie, stratificarea, timpul de reîmprospătare și energia stocată.

Lateral vs capac

TUR SECUNDAR LATERAL VS PE CAPAC

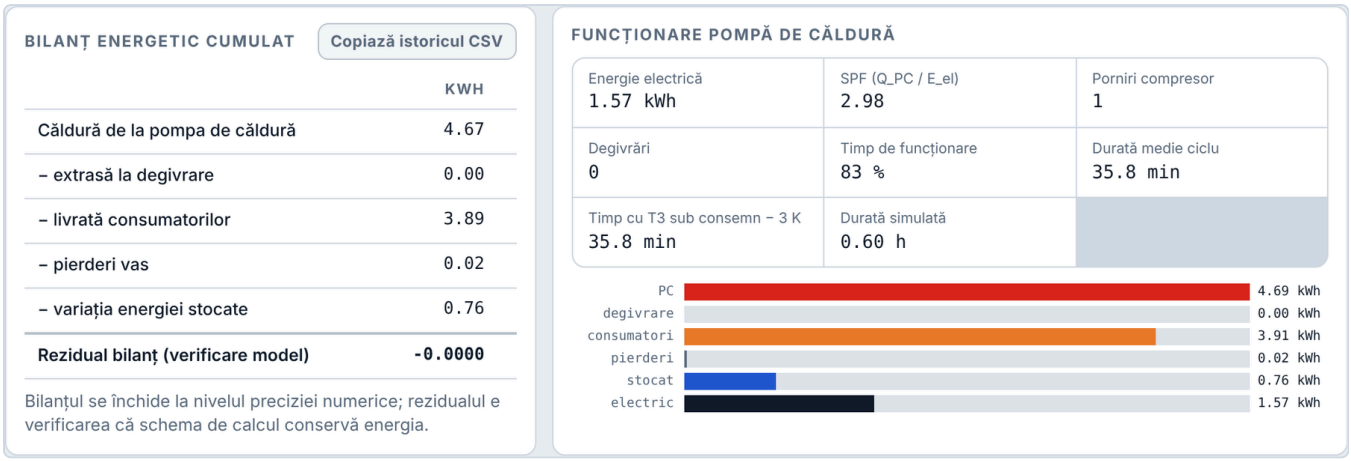
aceeași instalație simulată în paralel; doar poziția turului secundar diferă

	LATERAL · în schemă	PE CAPAC	CAPAC – LATERAL
T3 acum	41.00 °C	41.01 °C	+0.00 K
T3 mediu · ultimele 34 min	39.28 °C	39.28 °C	+0.00 K
T3 minim	33.56 °C	33.55 °C	−0.01 K
Timp cu T3 sub 42.0 °C	33.7 min	33.7 min	+0.0 min
Energie la consumatori	3.79 kWh	3.79 kWh	+0.00 kWh
Porniri compresor	1	1	+0

În acest moment cele două poziții livrează practic aceeași temperatură. Diferența apare mai ales în regim tranzitoriu (degivrare, oprirea compresorului), când volumul de deasupra racordului lateral devine rezervă pentru turul de pe capac.

Aplicația rulează permanent, în paralel, aceeași instalație cu cealaltă poziție a turului secundar. Tabelul compară T3 acum, media și minimul pe fereastra istoricului, timpul petrecut sub consemn − 3 K, energia livrată consumatorilor și pornirile compresorului. Coloana *Capac − lateral* e verde când capacul e mai bun, roșie când e mai slab.

Energie și cicluri



- **Bilanț energetic cumulat:** căldura de la pompa de căldură se regăsește în energia livrată consumatorilor, pierderile vasului, energia stocată și cea extrasă la degivrare. **Rezidualul** trebuie să fie zero; el confirmă că modelul conservă energia.
- **Funcționare pompă de căldură:** energie electrică, SPF, porniri, degivrări, timp de funcționare, durată medie de ciclu, timp cu T3 sub consemn − 3 K.
- **Copiază istoricul CSV:** pune în clipboard toate punctele din istoric (timp, T1–T4, varianta paralelă, starea PC, puteri). Se lipește direct în Excel sau într-un script.

Model fizic

Discretizare

100 de straturi, $V = A \cdot \Delta z$, $A = \pi \cdot D^2/4$

Model multi-nod 1D pe înălțime, de tipul celor din TRNSYS / Polysun. Curgerea orizontală nu e rezolvată; efectele ei intră prin modelele de jet și de extracție.

Bilanț de masă

$F_{k+½} = F_{k-½} + Q_{in,k} - Q_{out,k}$

F este debitul vertical net prin interfața dintre straturi (pozitiv în sus). F = 0 la fund și la capac.

Energie, formă conservativă

$V \cdot dT_k/dt = Q_{in,k}T_{in} - Q_{out,k}T_k + \Phi_{k-½} - \Phi_{k+½}$

$\Phi = F \cdot T_{upwind}$

Fluxurile prin interfețe sunt upwind; suma pe toate straturile reproduce exact bilanțul global, verificat în fila Energie.

Conducție verticală

$\alpha_{ef} = \alpha_{apă} + \lambda_{oțel} \cdot \pi \cdot D \cdot e \;/\; (\rho c_p \cdot A)$

$\alpha_{apă} = 1{,}5 \cdot 10^{-7}$ m²/s; mantaua de oțel de 3 mm netezește termoclina.

Jet la intrare

$v = 4Q/(\pi \cdot d^2) \cdot k_{dif}$ · $Fr = v/\sqrt{(g \cdot \beta \cdot \Delta T \cdot d)}$ · $L = (0{,}25 \cdot d \cdot Fr + d)/2$

Zona de amestec e calculată separat în sus și în jos, cu ΔT care se opune pătrunderii. k_{dif} = 1 / 0,5 / 0,25 pentru racord simplu, deflector, difuzor.

Extracție la ieșiri

$v(r) = Q/(2\pi \cdot r^2)$ · apa de la distanța z e atrasă dacă $g \cdot \beta \cdot \Delta T \cdot z < v^2/2$

Racordul lateral trage de deasupra și de dedesubt; cel de pe capac doar de dedesubt. O termoclină oprește extracția.

Convecție naturală

$T_k > T_{k+1} \rightarrow$ amestec până la stabilitate

Ajustare convectivă: apa mai caldă nu rămâne sub apă mai rece.

Pierderi termice

$U = 1/(e_{iz}/\lambda_{iz} + 1/h_{ext})$ · $\lambda_{iz} = 0{,}04$ W/(m·K), $h_{ext} = 8$ W/(m²·K)

Pe manta, capac și fund, către camera tehnică.

Pompa de căldură

$\Delta T_{max} = P_{max}/(\dot{m} \cdot c_p)$ · $T1 = T2 + clamp(T_c - T2, \Delta T_{min}, \Delta T_{max})$

Consemnul T_c urcă de la T1 inițial cu viteza setată. Sub modulația minimă compresorul ciclează (oprire la T1 > T_c + 2 K, repornire după senzorul din vas, la 2/3 H, sub T_c – histerezis). Rampă de pornire 3 min. Degivrare: ciclu invers, $T1 = T2 - 0{,}6 \cdot \Delta T_{max}$.

COP și consum electric

$COP = \eta \cdot T_{cond}/(T_{cond} - T_{evap})$ · $T_{cond} = T1 + 3$ K, $T_{evap} = T_{ext} - 5$ K, $\eta = 0{,}45$

$P_{el} = P_{th}/COP$; la degivrare $P_{el} = 0{,}35 \cdot P_{max}$. SPF = Q_{PC}/E_{el} pe durata simulării.

Consumatori (EN 442)

$P = P_{nom} \cdot ((T_m - T_i)/(T_{m,nom} - T_i))^n$ · $T_m = T3 - \Delta T/2$ · $\Delta T = P/(\dot{m}_s \cdot c_p)$

P_{nom} e sarcina setată, cedată la T3 = consemn. n = 1,3 radiatoare, 1,1 pardoseală, 1,0 ventiloconvectoare.

Limite de bilanț (staționar, fără amestec)

$Qs > Qp$: $T3 = T1 - \Delta T \cdot (Qs - Qp)/Qp$ · $Qp \geq Qs$: $T2 = T1 - \Delta T \cdot Qs/Qp$

Poziția racordurilor poate apropia sau îndepărta rezultatul de aceste limite, nu le poate depăși.

Ecuațiile folosite, cu coeficienții lor, și limitele modelului.

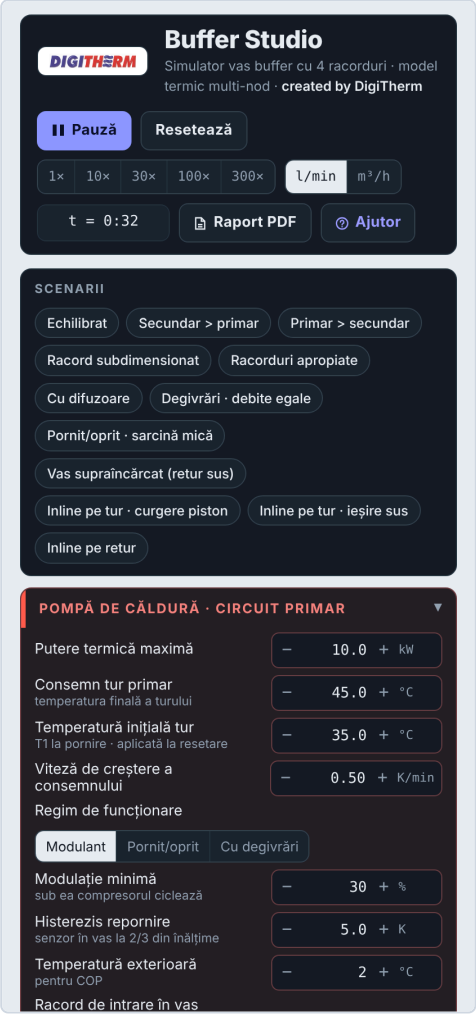
9. Cum citești rezultatele

Regim	Ce vezi	Cauză și remediu
Amestec în tur Qs/Qp > 1,03	T3 sub T1 cu 1–5 K; T2 ≈ T4; săgeata din vas în sus.	Pompa secundară trage mai mult decât livrează primarul; diferența urcă prin vas de la retur. Redu treapta P2 sau crește debitul P1. Formula limită: T3 = T1 − ΔT·(Qs − Qp)/Qp.
Retur cald Qs/Qp < 0,85	T3 ≈ T1, dar T2 mult peste T4; săgeata în jos; vasul se încarcă de sus.	Surplusul cald coboară spre returul primar: COP mai mic, cicluri mai scurte. Ține Qp doar cu 5–15 % peste Qs.
Echilibrat 0,85–1,03	T3 ≈ T1, T2 ≈ T4, curgere verticală ≈ 0.	Regimul dorit.
Jet puternic	Pana de amestec acoperă mult din vas; stratificare slabă; viteză > 0,7 m/s.	Racord mai mare, deflector sau difuzor; racorduri mai depărtate pe verticală.
PC ciclează	Banda verde din istoric întreruptă des; porniri multe în fila Energie.	Cererea e sub modulația minimă sau vasul e mic. Vas mai mare, histerezis mai mare, retur primar mai jos.
Inline pe tur	T3 urcă lent la pornire; T2 = T4.	Normal: vasul se încarcă primul. Dacă întârzierea deranjează, mută ieșirea mai sus (volum străbătut mai mic) sau montează vasul pe retur.
Inline pe retur	T3 = T1 imediat; T2 urcă lent.	Normal: vasul se încarcă cu apă de retur. Ciclurile compresorului se lungesc pe măsură ce vasul se încălzește.
Vasul se răcește continuu	Toate temperaturile scad lent.	Sarcina nominală depășește puterea pompei de căldură; instalația se echilibrează sub consemn. Verifică cele două puteri.

Ordinea de mărime a efectelor, cu valorile implicite: dezechilibrul de debit schimbă T3 cu câteva grade; dimensionarea pompei de căldură față de sarcină decide dacă instalația ajunge la consemn; diametrul racordului și distanțele contează cu 0,5–1,5 K; poziția turului secundar (lateral / capac) cu 0,1–1 K și doar în regim tranzitoriu.

10. Sfaturi practice

- Folosește **Pauză** ca să citești valori stabile; schimbările de parametri se aplică și în pauză.
- Pentru regim staționar lasă să ruleze cel puțin 2–3 timpi de reîmprospătare (valoarea din fila Grafice).
- Comparațiile între variante sunt corecte doar pe aceeași fereastră de timp: apasă **Resetează** după ce schimbi geometria, apoi lasă același interval.
- Pe telefon, panoul de parametri e deasupra schemei; schema și graficele rămân complete. Tema întunecată se activează după setarea sistemului.
- Pentru calibrarea pe o instalație reală: loghează T1–T4 și debitele câteva ore și compară cu istoricul exportat (CSV).



Pe telefon, cu tema întunecată.

Limitele modelului

Modelul e unidimensional pe înălțime, de tipul celor folosite în simularea instalațiilor. Nu rezolvă curgerea orizontală directă între racorduri de pe același perete, turbulența 3D sau geometria exactă a difuzoarelor. Coeficienții de amestec sunt empirici: tendințele sunt fiabile, valorile absolute au o incertitudine de ordinul 0,5–1 K.