

Bomba térmica

REGISTRO E AVALIAÇÃO DO DIAGRAMA DE PRESSÃO-ENTALPIA DE UMA BOMBA TÉRMICA DE COMPRESSÃO

- Demonstração do funcionamento de uma bomba térmica elétrica de compressão.
- Análise quantitativa do processo circular pertinente.
- Registro e avaliação do diagrama de pressão-entalpia.

UE2060300

03/18 UD



Fig. 1: Disposição de medição

FUNDAMENTOS GERAIS

Uma bomba térmica elétrica de compressão consiste de um compressor com motor de propulsão, um condensador, uma válvula de expansão e um evaporador. Seu funcionamento baseia em um processo circular com passagem de fases, pelo qual passa o meio de trabalho na

bomba e que pode ser dividido idealmente nas quatro etapas compressão, condensação, expansão restrita e evaporação.

Para a compressão, o meio de trabalho gasoso é sugado pelo compressor, comprimido, sem alteração da entropia ($s_1 = s_2$), de p_1 para p_2 comprimido e sobreaquecido, vide Fig. 2 e Fig. 3. Por isto, a temperatura sobe de T_1 para T_2 . Por unidade de massa, é realizado o trabalho de vedação mecânico $\Delta w = h_2 - h_1$.

No condensador, o meio de trabalho é fortemente resfriado e condensado. O calor liberado (calor de sobreaquecimento e calor de condensação) por unidade de massa é de $\Delta q^{cond} = h_2 - h_3$. Ele aquece o reservatório ao redor.

O meio de trabalho condensado chega até a válvula de expansão, para, ali, ser expandido de forma restrita (ou seja, sem trabalho mecânico) para uma pressão menor. Nisto, a temperatura também é reduzida, pois precisa ser realizado trabalho contra as forças de atração moleculares no meio de trabalho (efeito Joule-Thomson). A entalpia permanece constante ($h_4 = h_3$).

No evaporador, o meio de trabalho evapora completamente sob absorção do calor. Isto leva ao resfriamento do reservatório ao redor. Por unidade de massa, o calor absorvido é de $\Delta q^{vapo} = h_1 - h_4$.

Para a representação do processo circular, utiliza-se, com frequência, o diagrama de Mollier do meio de trabalho. Ali, a pressão p é aplicada contra a entalpia específica h do meio de trabalho (a entalpia e uma medida do teor calórico do meio de trabalho, ela geralmente fica maior com o aumento da pressão e com aumento do teor de gás).

Além disso, os isotermos ($T = const.$) e isentropos ($s = const.$), bem como a parcela relativa da massa da fase líquida do meio de trabalho são indicados. À esquerda da chamada linha de ebulição, o meio de trabalho é completamente condensado. À direita da chamada linha de condensação, o meio de trabalho se apresenta na forma de vapor sobreaquecido e, dentro de ambas as linhas, como mistura líquido-gás. As duas linhas se tocam no ponto crítico.

Para a representação no diagrama de Mollier, o processo circular ideal supramencionado pode ser determinado pela medição das pressões $p_4 = p_1$ e $p_3 = p_2$ atrás e na frente da válvula de expansão e da temperatura T_1 antes do compressor e da temperatura T_3 antes da válvula de expansão.

Na experiência, os componentes são ligados com tubo de cobre para formar um sistema fechado e montados sobre uma tábua de base. Graças à disposição clara, eles podem ser diretamente ligados à sequência de alterações de estados no processo circular da bomba térmica. Evaporador e condensador são formados como espirais de tubo de cobre e estão submersos respectivamente em um recipiente de água, que serve como reservatório para determinação do calor absorvido ou irradiado. Dois grandes manômetros indicam as relações de pressão do meio refrigerador em ambos os trocadores de calor. Dois termômetros digitais permite a medição da temperatura em ambos os recipientes de água. Para a medição das temperaturas nos tubos de cobre antes do compressor e antes da válvula de expansão, são colocados sensores de temperatura com grampo de medição adaptado.

O índice de potência do processo circular ideal pode ser calculado a partir das entalpias específicas lidas no diagrama de Mollier h_1 , h_2 e h_3 :

$$(1) \quad \varepsilon = \frac{\Delta q^{cond}}{\Delta w} = \frac{(h_2 - h_3)}{(h_2 - h_1)}$$

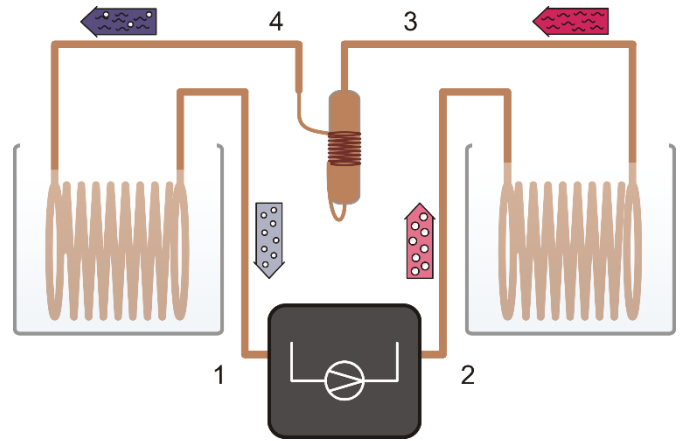


Fig. 2: Representação esquemática da bomba térmica com compressor (1, 2), condensador (2, 3), válvula de expansão (3, 4) e evaporador (4, 1)

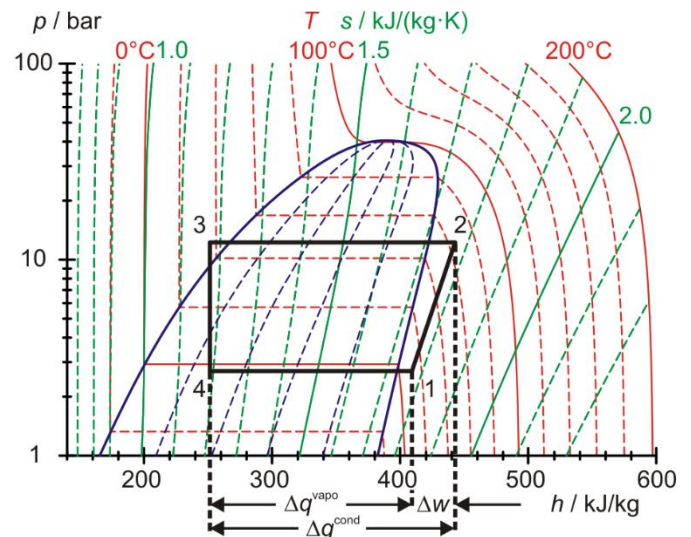


Fig. 3: Representação do processo circular ideal da bomba térmica no diagrama de Mollier.

Se as entalpias h_2 e h_3 do processo circular ideal, bem como a quantidade de calor adicionada ao reservatório de água quente ΔQ^{cond} por intervalo de tempo Δt forem dadas, é possível estimar o fluxo de massa do meio de trabalho:



$$(2) \quad \frac{\Delta m}{\Delta t} = \frac{\Delta Q^{cond}}{\Delta t} \cdot \frac{1}{(h_2 - h_3)}$$

LISTA DE APARELHOS



| | | |
|----|---|------------------------|
| 1 | Bomba térmica D @230V | 1000820 (U8440600-230) |
| ou | | |
| 1 | Bomba térmica D @115V | 1000819 (U8440600-115) |
| 4 | Sensor de temperatura NTC com pregador de medição | 1021797 (U8558010) |
| 1 | VinciLab | 1021477 (UCMA-001) |
| 1 | Coach 7, licença universitária 5 anos | 1021524 (UCMA-185U) |

COLOCAÇÃO EM OPERAÇÃO

VinciLab e sensores de temperatura

- Instalar o software Coach 7 no computador de medição.
- Conectar o VinciLab ao computador com o cabo USB.
- Grampear respectivamente um sensor de temperatura (local de medição 1 na Fig. 2), atrás do compressor (local de medição 2), antes da válvula de expansão (local de medição 3) e atrás da válvula de expansão (local de medição 4) no tubo de cobre e conectar nas entradas analógicas A1, A2, A3 e A4 do VinciLab.
- Inicializar VinciLab e Coach 7. No Coach 7, clicar no botão , selecionar, na janela que se abre "registrar-se", o nome de usuário "autor" do menu suspenso, inserir a senha do autor e confirmar com OK.
- Clicar no botão . Na janela que se abre "ajustes para atividades", confirmar as pré-seleções "tipo atividade: Medição" e "interface: VinciLab", clicando nelas e confirmar com OK.

O software realiza a conexão com o VinciLab. Uma imagem do VinciLab com pictogramas dos sensores conectados surge na janela mais inferior à esquerda das quatro.

- Ajustar tempo de medição de uma hora e frequência de medição 30 segundos. Para isto, clicar no botão . Inserir tempo de medição 3600 segundos e frequência 2 por minuto e confirmar com OK.
- Clicar no botão .

A tabela de dados (ainda vazia) aparece na janela superior direita. O VinciLab e o Coach 7 estão configurados para a medição.

Bomba térmica

Instruções de segurança:



- Antes da colocação em operação da bomba térmica, é obrigatório ler e seguir as instruções de segurança sob item 2 das instruções de utilização da bomba térmica.

- Abastecer os recipientes de água respectivamente com 2000 ml de água e colocar nos suportes.
- Conectar a bomba térmica à rede.
- Ligar o compressor e deixar funcionando por aprox. 10 min, de forma que alcance a sua temperatura de operação.
- Trocar a água e, nisto, determinar e anotar a massa da água em ambos os recipientes de água.
- Colocar os sensores de temperatura dos termômetros digitais na água.

Observação:


A água deve estar na temperatura ambiente (aprox. 20 - 25°C), caso contrário o condensador congela no decurso da medição, impedindo que o agitador seja movimentado.

EXECUÇÃO


Orientações:

Por conta do número abrangente de grandezas de medição a serem registradas, é recomendado realizar a experiência em duplas.

A água nos recipientes precisa ser sempre bem agitada durante toda a experiência.

- Ler e anotar respectivamente como valores iniciais os valores das pressões nos manômetros e as temperaturas da água nos termômetros digitais da bomba térmica.
- Ainda não ligar o compressor da bomba térmica, iniciar antes a medição no Coach 7. Para isto, clicar no botão . Na tabela de medição, aparece o registro "0 linhas de dados". Após a frequência de medição inserida de 30 segundos, aparece o registro "1 linha de dados" e um botão como símbolo "+". Ligar agora o compressor e clicar no símbolo "+".

Clicando no símbolo "+", a tabela é aberta e os valores de medição são mostrados. Inicialmente, ela contém somente a linha para $t = 0$ s com os valores iniciais para as temperaturas T_1 , T_2 , T_3 e T_4 .

- Assim que, depois de 30 segundos, a segunda linha aparecer na tabela ($t = 30$ s), ler e anotar os valores das pressões nos manômetros, das temperaturas da água nos termômetros digitais e da potência do compressor no monitor de energia da bomba térmica.
- Prosseguir a medição desta forma até que o interruptor de proteção contra sobrepresão seja acionado e concluir clicando no botão .
- Na janela com a tabela de dados, clicar na chave de boca na barra de título. No menu "medições" que se abre, selecionar "exportar arquivo CSV" e confirmar com OK. Na janela que se abre, inserir um nome de arquivo, selecionar um diretório e clicar em "salvar".

Alternativamente, os valores de medição (sem títulos) podem ser marcados e inseridos, por exemplo, em uma Tabela Excel® copiando e colando.

EXEMPLO DE MEDIÇÃO E AVALIAÇÃO

Massa da água no evaporador $m_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{vapo}}$: 1,98 kg

Massa da água no condensador $m_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{cond}}$: 1,98 kg

Os dados de medição para as temperaturas, as pressões e a potência do compressor podem ser encontradas na tabela Excel® no anexo. As cinco primeiras colunas correspondem ao arquivo CSV exportado do Coach 7, estando os valores já arredondados. As cinco colunas a seguir foram preenchidas posteriormente e correspondem aos valores de medição registrados à mão para as temperaturas da água, as pressões e a potência do compressor. As pressões p_3 e p_4 já foram, conforme

$$(3) \quad p_3 = p_{e3} + 1 \text{ bar} \text{ e } p_4 = p_{e4} + 1 \text{ bar}$$

p_{e3} , p_{e4} : sobrepresões medidas

convertidas nas pressões absolutas correspondentes. Os valores sublinhados em cinza e impressos em negrito em $t = 900$ s e $t = 1020$ s são utilizados para o cálculo do balanço da potência.

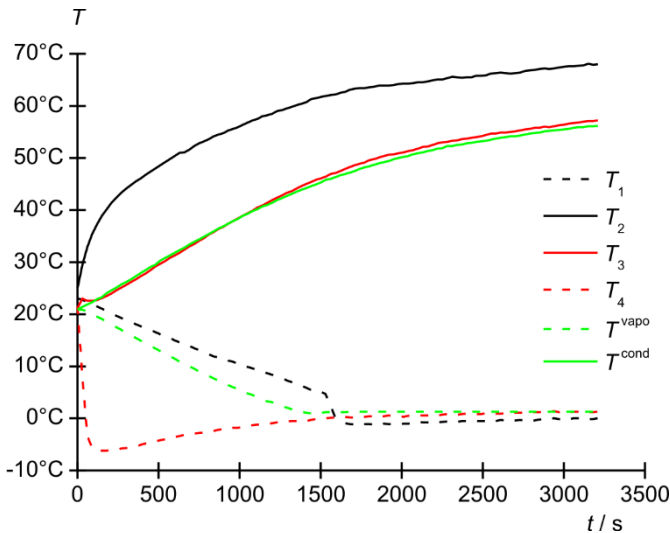


Fig. 4: Decursos temporais das temperaturas T_1 , T_2 , T_3 e T_4 nas posições de medição 1 a 4 e T^{vapo} e T^{cond} do reservatório de água fria e quente. preto: compressor, vermelho: válvula de expansão, verde: reservatórios de água. Linhas sólidas: lado quente, linhas tracejadas: lado frio.

Decursos da temperatura

- Representar os decursos temporais das temperaturas T_1 , T_2 , T_3 e T_4 nas posições de medição 1 a 4 e T^{vapo} e T^{cond} do reservatório de água fria e quente em um diagrama (Fig. 4).

Conforme esperado, a temperatura T_2 sobe por conta do sobreaquecimento do meio de trabalho devido à compressão e a temperatura T_4 diminui muito por conta da restrição. O calor liberado pelo resfriamento do meio de trabalho no condensador eleva a temperatura T^{cond} do reservatório de água. O calor absorvido pela evaporação completa do meio de trabalho resfria o reservatório de água fria e, por conta disso, a temperatura T^{vapo} abaixa.

As temperaturas T_1 e T_3 após a evaporação ou absorção do calor pelo meio de trabalho e após condensação ou irradiação do calor do meio de trabalho para o reservatório de água quente correspondem, independentemente de perdas de calor sobretudo para o ambiente, às temperaturas dos reservatórios de água fria e quente T^{vapo} e T^{cond} . Após cerca de 25 minutos (1500 s), o evaporador congela de forma que as temperaturas T_1 , T_4 e T^{vapo} não se alteram mais significativamente por conta do isolamento térmico das espirais de tubo de cobre pela camada de gelo.

Processo circular no diagrama de Mollier e balanço de potência

- Representar o processo circular da bomba térmica com os valores de medição registrados com $t = 900$ s para T_1 , T_2 , T_3 e T_4 e p_3 e p_4 no diagrama de Mollier (Tab. 1, Fig 5) e ler os valores para as entalpias específicas h_1 , h_2 e $h_3 = h_4$.

T_1 e $p_4 = p_1$ determinam o ponto 1 no diagrama de Mollier. A interseção da isentrópica pertinente com a horizontal $p_3 = p_2 = const.$ é dada pelo ponto 2. A interseção da horizontal com a isotérmica T_3 leva ao ponto 3 e a normal sobre a horizontal $p_4 = p_1 = const.$, ao ponto 4.

O processo circular corresponde ao decurso esperado. Por conta das perdas de calor no compressor, a temperatura medida T_2 (54,8°C) não confere com a temperatura extrapolada isentropicamente (65,0°C).

Do diagrama de Mollier, os valores a seguir podem ser lidos para as entalpias específicas:

$$h_1 = 409 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$(4) \quad h_2 = 443 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$h_3 = 252 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} = h_4$$

Observação:

A medição da temperatura T_3 proporciona uma visão ampliada dos processos em curso na bomba térmica: T_3 não confere com a temperatura que é lida na escala de temperatura do manômetro pertinente. Esta escala é baseada na curva de pressão do vapor do meio de trabalho. Ou seja, a medição mostra que o meio de trabalho antes da válvula de expansão não é uma mistura de líquido e gás, mas que é completamente líquido.

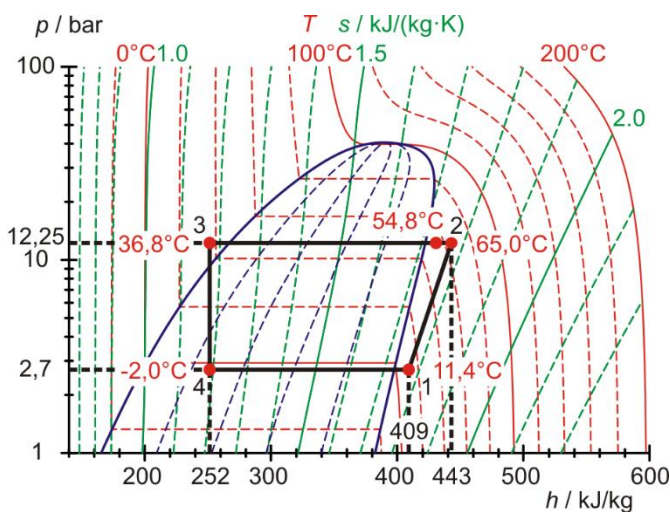


Fig. 5: Representação do processo circular da bomba térmica em diagrama Mollier, 15 minutos após ligar o compressor.

Índice de potência

Conforme a equação (1), o índice de potência resulta, no caso ideal:

$$(5) \quad \varepsilon = \frac{\Delta q^{\text{cond}}}{\Delta w} = \frac{(h_2 - h_3)}{(h_2 - h_1)} = \frac{(443 - 252) \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}}{(443 - 409) \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}} = 5,6$$

A partir do aquecimento do reservatório de água quente, o índice de potência resulta:

$$(6) \quad \varepsilon = \frac{\Delta q^{\text{cond}}}{\Delta w} = \frac{\Delta Q^{\text{cond}}}{P \cdot \Delta t} = \frac{m_{\text{H}_2\text{O}} \cdot c_{\text{H}_2\text{O}} \cdot \Delta T^{\text{cond}}}{P \cdot \Delta t} \\ = \frac{m_{\text{H}_2\text{O}} \cdot c_{\text{H}_2\text{O}} \cdot (T_{1020 \text{ s}}^{\text{cond}} - T_{900 \text{ s}}^{\text{cond}})}{P \cdot \Delta t} \\ = \frac{1,98 \text{ kg} \cdot 4,19 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot (38,9 - 36,9)^\circ\text{C}}{116,5 \text{ W} \cdot 120 \text{ s}} = 1,2$$

Portanto, são utilizados $1,2 / 5,6 = 0,21 = 21\%$ da potência elétrica para a compressão.

Fluxo de massa do meio de trabalho

Conforme equação (2), vale:

$$(7) \quad \frac{\Delta m}{\Delta t} = \frac{\Delta Q^{\text{cond}}}{\Delta t} \cdot \frac{1}{(h_2 - h_3)} \\ = \frac{m_{\text{H}_2\text{O}} \cdot c_{\text{H}_2\text{O}} \cdot \Delta T^{\text{cond}}}{\Delta t} \cdot \frac{1}{(h_2 - h_3)} \\ = \frac{m_{\text{H}_2\text{O}} \cdot c_{\text{H}_2\text{O}} \cdot (T_{1020 \text{ s}}^{\text{cond}} - T_{900 \text{ s}}^{\text{cond}})}{\Delta t} \cdot \frac{1}{(h_2 - h_3)} \\ = \frac{1,98 \text{ kg} \cdot 4,19 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot (38,9 - 36,9)^\circ\text{C}}{120 \text{ s} \cdot (443 - 252) \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}} \\ = 0,72 \frac{\text{g}}{\text{s}}$$

Potência efetiva do compressor

$$(8) \quad P_{\text{eff}} = \frac{\Delta Q^{\text{comp}}}{\Delta t} = (h_2 - h_1) \cdot \frac{\Delta m}{\Delta t} \\ = (443 - 409) \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \cdot 0,72 \frac{\text{g}}{\text{s}} = 24,5 \text{ W}$$

Em conferência com as observações sobre o índice de potência, são utilizados $24,5 \text{ W} / 116,5 \text{ W} = 0,21 = 21\%$ da potência elétrica para a compressão.

Balço de potência

A potência efetiva do compressor resulta da quantidade de calor ΔQ^{cond} por intervalo de tempo Δt adicionada ao reservatório de água quente menos a quantidade de calor ΔQ^{vapo} retirada do reservatório de água fria por intervalo de tempo Δt :

$$(9) \quad \frac{\Delta Q^{\text{cond}}}{\Delta t} = \frac{m_{\text{H}_2\text{O}} \cdot c_{\text{H}_2\text{O}} \cdot \Delta T^{\text{cond}}}{\Delta t} \\ = \frac{m_{\text{H}_2\text{O}} \cdot c_{\text{H}_2\text{O}} \cdot (T_{1020 \text{ s}}^{\text{cond}} - T_{900 \text{ s}}^{\text{cond}})}{\Delta t} \\ = \frac{1,98 \text{ kg} \cdot 4,19 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot (38,9 - 36,9)^\circ\text{C}}{120 \text{ s}} \\ = 138 \text{ W}$$

$$(10) \quad \frac{\Delta Q^{\text{vapo}}}{\Delta t} = \frac{m_{\text{H}_2\text{O}} \cdot c_{\text{H}_2\text{O}} \cdot \Delta T^{\text{vapo}}}{\Delta t} \\ = \frac{m_{\text{H}_2\text{O}} \cdot c_{\text{H}_2\text{O}} \cdot (T_{900 \text{ s}}^{\text{vapo}} - T_{1020 \text{ s}}^{\text{vapo}})}{\Delta t} \\ = \frac{1,98 \text{ kg} \cdot 4,19 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot (6,8 - 5,2)^\circ\text{C}}{120 \text{ s}} \\ = 111 \text{ W}$$

Ou seja:

$$(11) \quad P_{\text{eff}} = \frac{\Delta Q^{\text{comp}}}{\Delta t} = \frac{\Delta Q^{\text{cond}}}{\Delta t} - \frac{\Delta Q^{\text{vapo}}}{\Delta t} \\ = 138 \text{ W} - 111 \text{ W} = 27 \text{ W}$$

Confere bem com o valor acima calculado de 24,5 W.

ANEXO

Tab. 1: Temperaturas T_1 , T_2 , T_3 e T_4 nas posições de medição 1 até 4 e T^{vapo} e T^{cond} do reservatório de água fria e quente, pressões absolutas p_3 e p_4 na frente e atrás da válvula de expansão e potência de compressor P . As cinco primeiras colunas correspondem ao arquivo CSV exportado do Coach 7, sendo os valores arredondados. As cinco colunas a seguir foram preenchidas posteriormente e correspondem aos valores de medição registrados à mão para as temperaturas da água, as pressões e a potência do compressor.

| Tempo | T1 | T2 | T3 | T4 | Tvapo | Tcond | p3 | p4 | P |
|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|------------|-------------|--------------|------------|--------------|
| s | °C | °C | °C | °C | °C | °C | bar | bar | W |
| 0 | 23,0 | 25,0 | 21,2 | 21,5 | 20,9 | 20,9 | 4,75 | 4,4 | 0,0 |
| 30 | 22,8 | 29,5 | 23,0 | 7,7 | 20,9 | 21,4 | 8,75 | 1,9 | 97,8 |
| 60 | 22,3 | 32,9 | 22,6 | -3,4 | 20,5 | 21,9 | 8,75 | 2,0 | 101,1 |
| 90 | 21,8 | 35,4 | 22,6 | -5,7 | 20,1 | 22,3 | 9,00 | 2,1 | 102,7 |
| 120 | 21,5 | 37,3 | 22,7 | -6,2 | 19,5 | 22,9 | 9,00 | 2,2 | 103,2 |
| 150 | 21,1 | 38,9 | 23,1 | -6,2 | 19,1 | 23,3 | 9,00 | 2,2 | 104,3 |
| 180 | 20,5 | 40,2 | 23,5 | -6,2 | 18,5 | 24,1 | 9,25 | 2,2 | 105,1 |
| 210 | 20,2 | 41,4 | 24,0 | -6,1 | 18,0 | 24,6 | 9,50 | 2,3 | 105,8 |
| 240 | 19,7 | 42,4 | 24,6 | -6,0 | 17,5 | 25,1 | 9,50 | 2,3 | 106,7 |
| 270 | 19,3 | 43,3 | 25,1 | -5,8 | 17,0 | 25,7 | 9,50 | 2,3 | 106,5 |
| 300 | 18,9 | 44,1 | 25,6 | -5,7 | 16,4 | 26,2 | 9,75 | 2,3 | 107,0 |
| 330 | 18,5 | 44,8 | 26,2 | -5,5 | 16,0 | 26,7 | 9,75 | 2,4 | 107,9 |
| 360 | 18,1 | 45,5 | 26,7 | -5,3 | 15,4 | 27,3 | 10,00 | 2,4 | 108,8 |
| 390 | 17,7 | 46,1 | 27,3 | -5,1 | 14,9 | 28,9 | 10,00 | 2,4 | 108,9 |
| 420 | 17,3 | 46,8 | 27,8 | -4,8 | 14,4 | 28,5 | 10,00 | 2,4 | 109,7 |
| 450 | 16,9 | 47,4 | 28,5 | -4,6 | 13,9 | 29,1 | 10,25 | 2,5 | 110,2 |
| 480 | 16,6 | 48,0 | 29,2 | -4,4 | 13,4 | 29,5 | 10,50 | 2,5 | 110,3 |
| 510 | 16,1 | 48,6 | 29,7 | -4,2 | 12,9 | 30,3 | 10,50 | 2,5 | 111,3 |
| 540 | 15,8 | 49,2 | 30,2 | -4,0 | 12,5 | 30,8 | 10,50 | 2,5 | 111,5 |
| 570 | 15,4 | 49,8 | 30,8 | -3,8 | 11,9 | 31,3 | 10,75 | 2,5 | 111,9 |
| 600 | 15,0 | 50,4 | 31,3 | -3,6 | 11,5 | 31,8 | 11,00 | 2,6 | 112,3 |
| 630 | 14,6 | 51,0 | 31,8 | -3,4 | 10,9 | 32,3 | 11,00 | 2,6 | 112,3 |
| 660 | 14,2 | 51,1 | 32,4 | -3,1 | 10,6 | 32,8 | 11,00 | 2,6 | 113,6 |
| 690 | 13,9 | 51,6 | 33,0 | -3,1 | 10,0 | 33,4 | 11,25 | 2,6 | 113,5 |
| 720 | 13,5 | 52,3 | 33,5 | -2,9 | 9,5 | 33,9 | 11,50 | 2,6 | 114,0 |
| 750 | 13,1 | 52,8 | 34,1 | -2,8 | 9,0 | 34,4 | 11,50 | 2,6 | 114,1 |
| 780 | 12,7 | 53,2 | 34,6 | -2,7 | 8,5 | 34,9 | 11,75 | 2,6 | 115,0 |
| 810 | 12,3 | 53,6 | 35,3 | -2,5 | 8,1 | 35,4 | 12,00 | 2,6 | 115,2 |
| 840 | 11,9 | 54,2 | 35,8 | -2,4 | 7,7 | 35,9 | 12,00 | 2,7 | 115,6 |
| 870 | 11,7 | 54,5 | 36,4 | -2,2 | 7,2 | 36,5 | 12,00 | 2,7 | 116,5 |
| 900 | 11,4 | 54,8 | 36,8 | -2,0 | 6,8 | 36,9 | 12,25 | 2,7 | 116,5 |
| 930 | 11,1 | 55,3 | 37,4 | -2,0 | 6,4 | 37,4 | 12,50 | 2,7 | 117,0 |
| 960 | 10,9 | 55,6 | 37,9 | -1,8 | 6,0 | 37,9 | 12,50 | 2,7 | 117,2 |
| 990 | 10,5 | 55,9 | 38,4 | -1,8 | 5,6 | 38,3 | 12,50 | 2,7 | 117,5 |
| 1020 | 10,1 | 56,4 | 38,9 | -1,6 | 5,2 | 38,9 | 12,75 | 2,7 | 118,7 |
| 1050 | 9,9 | 56,8 | 39,4 | -1,4 | 4,8 | 39,3 | 13,00 | 2,8 | 119,2 |
| 1080 | 9,6 | 57,2 | 39,9 | -1,3 | 4,5 | 39,8 | 13,00 | 2,8 | 118,7 |
| 1110 | 9,4 | 57,5 | 40,5 | -1,2 | 4,1 | 40,2 | 13,00 | 2,8 | 119,6 |
| 1140 | 9,1 | 58,0 | 40,9 | -1,2 | 3,6 | 40,7 | 13,25 | 2,8 | 119,6 |

| | | | | | | | | | |
|------|------|------|------|------|-----|------|-------|-----|-------|
| 1170 | 8,7 | 58,2 | 41,4 | -1,0 | 3,3 | 41,0 | 13,50 | 2,8 | 120,3 |
| 1200 | 8,4 | 58,5 | 41,9 | -0,9 | 3,1 | 41,4 | 13,50 | 2,8 | 120,2 |
| 1230 | 8,1 | 59,0 | 42,4 | -0,8 | 2,7 | 41,9 | 13,75 | 2,8 | 121,1 |
| 1260 | 7,7 | 59,2 | 42,8 | -0,7 | 2,3 | 42,3 | 13,75 | 2,8 | 121,6 |
| 1290 | 7,3 | 59,5 | 43,3 | -0,6 | 2,1 | 42,7 | 14,00 | 2,8 | 121,7 |
| 1320 | 7,0 | 59,8 | 43,6 | -0,5 | 1,8 | 43,1 | 14,00 | 2,8 | 122,1 |
| 1350 | 6,6 | 60,1 | 44,1 | -0,5 | 1,5 | 43,5 | 14,00 | 2,8 | 122,0 |
| 1380 | 6,3 | 60,4 | 44,6 | -0,3 | 1,3 | 43,9 | 14,25 | 2,8 | 122,8 |
| 1410 | 5,9 | 60,7 | 45,0 | -0,5 | 1,1 | 44,2 | 14,50 | 2,8 | 122,6 |
| 1440 | 5,5 | 61,6 | 45,4 | -0,3 | 1,0 | 44,6 | 14,50 | 2,8 | 122,9 |
| 1470 | 5,1 | 61,5 | 45,8 | -0,1 | 1,1 | 44,9 | 14,50 | 2,8 | 123,2 |
| 1500 | 5,1 | 61,7 | 46,1 | -0,1 | 1,1 | 45,3 | 14,75 | 2,8 | 123,6 |
| 1530 | 4,7 | 61,9 | 46,4 | 0,0 | 1,2 | 45,8 | 14,75 | 2,9 | 123,7 |
| 1560 | 2,5 | 62,1 | 46,9 | 0,1 | 1,2 | 46,0 | 15,00 | 2,9 | 123,8 |
| 1590 | 0,1 | 62,2 | 47,1 | 0,2 | 1,2 | 46,3 | 15,00 | 2,9 | 124,5 |
| 1620 | -0,6 | 62,5 | 47,5 | 0,2 | 1,2 | 46,7 | 15,00 | 2,9 | 124,7 |
| 1650 | -0,9 | 62,7 | 47,9 | 0,3 | 1,2 | 46,9 | 15,25 | 2,9 | 124,9 |
| 1680 | -1,1 | 63,1 | 48,3 | 0,2 | 1,3 | 47,2 | 15,50 | 2,9 | 125,0 |
| 1710 | -1,2 | 63,3 | 48,6 | 0,1 | 1,3 | 47,5 | 15,50 | 2,9 | 125,1 |
| 1740 | -1,1 | 63,4 | 48,9 | 0,2 | 1,3 | 47,9 | 15,50 | 2,9 | 125,4 |
| 1770 | -1,1 | 63,4 | 49,1 | 0,3 | 1,3 | 48,2 | 15,75 | 2,9 | 125,9 |
| 1800 | -1,1 | 63,6 | 49,6 | 0,4 | 1,3 | 48,4 | 15,75 | 2,9 | 126,0 |
| 1830 | -1,2 | 63,7 | 49,8 | 0,4 | 1,3 | 48,7 | 16,00 | 2,9 | 126,0 |
| 1860 | -1,2 | 63,9 | 50,1 | 0,4 | 1,3 | 49,0 | 16,00 | 2,9 | 126,4 |
| 1890 | -1,0 | 63,9 | 50,4 | 0,4 | 1,3 | 49,2 | 16,00 | 2,9 | 126,3 |
| 1920 | -1,1 | 63,9 | 50,6 | 0,6 | 1,3 | 49,4 | 16,00 | 2,9 | 126,6 |
| 1950 | -1,1 | 64,0 | 50,7 | 0,5 | 1,3 | 49,8 | 16,25 | 2,9 | 127,0 |
| 1980 | -1,1 | 64,2 | 50,9 | 0,6 | 1,3 | 50,0 | 16,25 | 2,9 | 127,3 |
| 2010 | -1,0 | 64,3 | 51,1 | 0,3 | 1,3 | 50,2 | 16,50 | 2,9 | 127,2 |
| 2040 | -1,0 | 64,3 | 51,3 | 0,5 | 1,3 | 50,4 | 16,50 | 2,9 | 127,3 |
| 2070 | -0,8 | 64,4 | 51,5 | 0,7 | 1,3 | 50,7 | 16,50 | 2,9 | 127,5 |
| 2100 | -0,7 | 64,5 | 51,8 | 0,6 | 1,3 | 50,9 | 16,50 | 2,9 | 127,7 |
| 2130 | -0,8 | 64,5 | 52,1 | 0,6 | 1,3 | 51,1 | 16,75 | 2,9 | 128,0 |
| 2160 | -0,8 | 64,7 | 52,2 | 0,6 | 1,3 | 51,3 | 16,75 | 2,9 | 128,6 |
| 2190 | -0,8 | 64,9 | 52,5 | 0,6 | 1,3 | 51,5 | 17,00 | 2,9 | 128,6 |
| 2220 | -0,8 | 65,1 | 52,8 | 0,6 | 1,3 | 51,8 | 17,00 | 3,0 | 128,8 |
| 2250 | -0,7 | 65,1 | 53,0 | 0,7 | 1,3 | 51,9 | 17,00 | 3,0 | 128,9 |
| 2280 | -0,6 | 65,3 | 53,1 | 0,8 | 1,3 | 52,3 | 17,00 | 3,0 | 128,9 |
| 2310 | -0,5 | 65,6 | 53,3 | 0,8 | 1,3 | 52,3 | 17,00 | 3,0 | 129,0 |
| 2340 | -0,7 | 65,5 | 53,4 | 0,7 | 1,3 | 52,5 | 17,00 | 3,0 | 129,2 |
| 2370 | -0,5 | 65,4 | 53,6 | 0,8 | 1,3 | 52,6 | 17,50 | 3,0 | 129,4 |
| 2400 | -0,5 | 65,5 | 53,7 | 0,9 | 1,3 | 52,8 | 17,50 | 3,0 | 129,8 |
| 2430 | -0,4 | 65,5 | 53,9 | 0,8 | 1,3 | 52,9 | 17,25 | 3,0 | 129,4 |
| 2460 | -0,5 | 65,8 | 54,0 | 0,8 | 1,3 | 53,1 | 17,50 | 3,0 | 129,9 |
| 2490 | -0,5 | 65,8 | 54,2 | 0,8 | 1,3 | 53,2 | 17,50 | 3,0 | 130,0 |
| 2520 | -0,5 | 65,9 | 54,4 | 1,0 | 1,3 | 53,3 | 17,50 | 3,0 | 130,1 |

| | | | | | | | | | |
|------|------|------|------|-----|-----|------|-------|-----|-------|
| 2550 | -0,5 | 66,2 | 54,7 | 1,0 | 1,3 | 53,5 | 17,50 | 3,0 | 130,5 |
| 2580 | -0,5 | 66,3 | 54,7 | 0,9 | 1,3 | 53,7 | 17,50 | 3,0 | 130,1 |
| 2610 | -0,3 | 66,4 | 54,9 | 0,9 | 1,3 | 53,9 | 17,75 | 3,0 | 130,6 |
| 2640 | -0,4 | 66,3 | 54,9 | 1,0 | 1,3 | 54,0 | 17,75 | 3,0 | 130,5 |
| 2670 | -0,5 | 66,2 | 55,0 | 1,1 | 1,3 | 54,2 | 17,75 | 3,0 | 130,8 |
| 2700 | -0,4 | 66,3 | 55,1 | 1,1 | 1,3 | 54,2 | 18,00 | 3,0 | 130,8 |
| 2730 | -0,3 | 66,4 | 55,3 | 1,1 | 1,3 | 54,3 | 18,00 | 3,0 | 130,8 |
| 2760 | -0,4 | 66,7 | 55,5 | 1,1 | 1,3 | 54,5 | 18,00 | 3,0 | 131,5 |
| 2790 | -0,4 | 66,8 | 55,6 | 1,2 | 1,3 | 54,7 | 18,00 | 3,0 | 131,5 |
| 2820 | -0,4 | 66,9 | 55,8 | 1,2 | 1,3 | 54,8 | 18,00 | 3,0 | 130,8 |
| 2850 | -0,2 | 67,1 | 55,8 | 1,2 | 1,3 | 54,9 | 18,00 | 3,0 | 131,7 |
| 2880 | -0,1 | 67,2 | 56,0 | 1,2 | 1,3 | 55,1 | 18,00 | 3,0 | 131,8 |
| 2910 | -0,1 | 67,1 | 55,9 | 1,2 | 1,3 | 55,2 | 18,25 | 3,0 | 131,5 |
| 2940 | 0,0 | 67,2 | 56,1 | 1,4 | 1,3 | 55,3 | 18,25 | 3,0 | 131,9 |
| 2970 | -0,1 | 67,4 | 56,3 | 1,2 | 1,3 | 55,4 | 18,25 | 3,0 | 132,1 |
| 3000 | -0,1 | 67,5 | 56,4 | 1,2 | 1,3 | 55,5 | 18,50 | 3,0 | 132,3 |
| 3030 | -0,1 | 67,6 | 56,6 | 1,1 | 1,3 | 55,6 | 18,50 | 3,0 | 132,5 |
| 3060 | 0,0 | 67,6 | 56,7 | 1,3 | 1,3 | 55,8 | 18,50 | 3,0 | 132,4 |
| 3090 | 0,0 | 67,7 | 56,8 | 1,3 | 1,3 | 55,9 | 18,50 | 3,0 | 132,5 |
| 3120 | 0,1 | 67,8 | 57,0 | 1,2 | 1,3 | 55,9 | 18,50 | 3,0 | 132,3 |
| 3150 | -0,1 | 68,1 | 57,1 | 1,2 | 1,3 | 56,1 | 18,50 | 3,0 | 132,4 |
| 3180 | -0,1 | 67,9 | 57,1 | 1,2 | 1,3 | 56,1 | 18,50 | 3,0 | 132,6 |
| 3210 | 0,0 | 68,0 | 57,2 | 1,3 | 1,3 | 56,2 | 18,50 | 3,0 | 133,2 |