

S P R E N G E R I N S T I T U U T
Haagsteeg 6, 6700 AA Wageningen
Tel.: 08370-19013

BIJLAGEN BIJ RAPPORT NO. 1985

Sprenger Instituut rapport no. 1985A

Bijlage 1.

WEERGEGEVENS VAN HET WESTLAND OVER DE JAREN 1974, '75 en '76

Opgegeven zijn:

- de maximum temperatuur
- de minimum temperatuur
- de maximum r.v. is te stellen op 90-95%
- de minimum r.v.

De gegevens zijn afkomstig van het proefstation Naaldwijk, afd. Kasklimaatonderzoek.

Maandgemiddelden 1974

Maand	maximum temp. °C	minimum temp. °C	minimum r.v.%
januari	7.9	4.2	75
februari	8.2	3.6	66
maart	9.6	3.3	67
april	13.8	5.7	49
mei	15.7	8.0	51
1 ^e decade	12.9	6.7	52
2 ^e decade	18.9	8.8	45
3 ^e decade	15.5	8.4	55
juni	18.4	11.4	60
1 ^e decade	16.5	9.2	53
2 ^e decade	19.5	11.7	60
3 ^e decade	19.1	13.3	67
juli	19.0	13.3	61
1 ^e decade	19.2	13.2	58
2 ^e decade	18.4	12.8	63
3 ^e decade	19.5	13.9	61
augustus	21.3	12.6	57
1 ^e decade	20.8	12.3	57
2 ^e decade	21.2	13.6	62
3 ^e decade	21.8	11.9	53
september	17.0	10.6	61
1 ^e decade	17.6	12.0	60
2 ^e decade	19.6	11.4	62
3 ^e decade	13.7	8.4	61
oktober	11.2	5.6	64
november	9.4	5.4	71
december	9.3	6.2	71

Maandgemiddelden 1975

Maand	maximum temp. °C	minimum temp. °C	minimum r.v. %
januari	8.9	5.0	70
februari	7.6	0.8	64
maart	7.6	3.2	65
april	10.5	5.0	64
mei	14.7	8.1	54
1 ^e decade	14.5	7.9	57
2 ^e decade	15.0	8.9	58
3 ^e decade	14.6	7.6	49
juni	19.1	10.6	49
1 ^e decade	17.6	8.3	44
2 ^e decade	19.8	11.2	47
3 ^e decade	19.8	12.3	57
juli	21.7	14.3	59
1 ^e decade	21.8	13.8	57
2 ^e decade	21.7	15.6	64
3 ^e decade	21.7	13.7	56
augustus	24.4	15.0	52
1 ^e decade	28.6	16.6	42
2 ^e decade	22.9	15.6	59
3 ^e decade	21.9	12.9	54
september	19.4	12.4	60
1 ^e decade	21.0	13.2	58
2 ^e decade	18.0	11.9	62
3 ^e decade	19.2	12.2	60
oktober	12.7	7.0	66
november	9.0	4.0	72
december	7.1	3.3	71

Maandgemiddelden 1976

Maand	maximum temp. °C	minimum temp. °C	minimum r.v.%
januari	6.7	3.0	69
februari	5.9	1.0	74
maart	6.8	1.1	56
april	11.7	4.1	48
mei	17.6	9.0	46
1 ^e decade	19.8	9.3	40
2 ^e decade	16.9	8.4	53
3 ^e decade	16.2	9.3	46
juni	22.4	13.0	44
1 ^e decade	19.7	10.3	42
2 ^e decade	19.2	12.0	50
3 ^e decade	28.2	16.5	39
juli	24.0	14.8	43
1 ^e decade	28.2	15.6	26
2 ^e decade	24.3	15.4	50
3 ^e decade	19.9	13.6	53
augustus	23.0	13.7	43
1 ^e decade	21.1	13.5	46
2 ^e decade	24.2	14.6	46
3 ^e decade	23.7	13.0	38
september	18.2	11.1	61
1 ^e decade	18.7	11.0	52
2 ^e decade	16.8	10.8	62
3 ^e decade	19.1	11.6	69
oktober	14.5	9.3	71
november	9.6	5.5	72
december	4.9	0.8	66

BIJLAGE 2

Aanvoer van TOMATEN in 1975

Gegevens afkomstig van het Centraal Bureau van de Tuinbouwveilingen Nederland, per week x1.000 kg

Weeknr.	Nw.A'dam + Westland Noord	Bleis- wijk	Delft- Wester- lee	West- land- Zuid	Breda	ZHZ	Pijn- acker	Gouda
<u>april</u> 14	815	1.275	522	111	61	9	166	46
15	1.147	1.454	657	174	69	20	211	74
16	1.628	1.937	930	237	117	39	297	121
17	2.658	2.945	1.534	429	187	78	472	227
subtotaal	6.248	7.611	3.643	951	434	146	1.146	468
<u>mei</u> 18	3.331	3.506	1.902	693	236	96	532	361
19	3.271	2.890	1.979	931	245	110	485	359
20	4.125	<u>3.853</u>	2.451	1.287	325	158	<u>636</u>	<u>423</u>
21	3.586	<u>3.279</u>	2.239	1.352	314	170	<u>564</u>	<u>357</u>
22	3.420	2.597	2.307	1.562	302	176	454	334
subtotaal	17.733	x <u>16.125</u>	10.878	5.825	1.422	725	x <u>2.671</u>	x <u>1.834</u>
<u>juni</u> 23	3.624	2.687	2.520	1.784	344	221	449	380
24	4.967	3.558	3.837	2.724	498	340	574	494
25	<u>5.415</u>	3.790	<u>4.007</u>	2.741	505	409	585	367
26	4.366	2.742	3.522	2.942	497	366	439	367
subtotaal	x <u>18.372</u>	12.777	x <u>13.886</u>	10.191	1.844	1.336	2.047	1.723
<u>juli</u> 27	3.676	2.353	3.094	2.751	562	395	403	283
28	3.447	2.399	3.021	2.920	546	560	409	305
29	4.441	2.936	3.874	<u>4.098</u>	759	784	523	392
30	3.232	2.014	2.706	<u>3.027</u>	630	753	368	284
subtotaal	14.796	9.702	12.695	x <u>12.796</u>	2.497	2.492	1.703	1.264
<u>augustus</u> 31	2.453	1.425	2.134	2.633	504	637	280	196
32	2.927	1.657	2.512	3.126	688	779	364	278
33	2.608	1.467	2.305	2.946	<u>767</u>	<u>874</u>	346	266
34	1.856	960	1.536	1.895	<u>758</u>	600	233	360
35	1.116	612	957	1.228	644	452	149	116
subtotaal	10.960	6.121	9.444	11.828	x <u>3.361</u>	x <u>3.342</u>	1.026	1.216
<u>september</u> 36	1.237	708	953	1.239	662	472	168	111
37	1.493	932	941	1.089	696	498	223	136
38	1.514	900	930	961	730	558	214	139
39	1.427	815	822	805	637	565	194	103
subtotaal	5.671	3.355	3.646	4.094	2.725	2.193	799	489
<u>oktober</u> 40	959	590	525	489	421	385	148	81
41	781	497	428	363	278	265	123	72
42	688	470	370	268	272	238	124	60
43	817	572	450	329	298	334	175	97
44	560	353	262	207	227	234	118	46
subtotaal	3.805	2.482	2.035	1.656	1.496	1.456	688	356
<u>november</u> 45	522	297	231	184	161	184	124	18
46	325	228	129	138	64	115	46	10
47	148	88	53	47	28	44	13	5
48	49	26	23	14	11	33	4	1
subtotaal	1.044	639	436	383	264	376	187	34
TOTAAL	78.629	58.812	56.663	47.724	14.043	11.956	10.267	7.384

Aanvoer van tomaten in 1975

per week x 1.000 kg

Weeknr.	Venlo VGV	Veld- hoven	Grubben- vorst + Roermond	Utrecht	Leiden	Drunen	Basmel VV'70	Zalt- bommel
<u>april</u>								
14	37	11	28	55	31	4	1	--
15	44	27	33	53	50	7	1	--
16	44	36	44	67	79	10	3	--
17	59	57	75	99	146	22	6	--
subtotaal	184	131	180	274	306	43	11	--
<u>mei</u>								
18	66	60	86	119	170	28	13	--
19	83	55	98	126	157	30	14	--
20	102	79	100	161	165	41	28	--
21	89	74	78	122	144	37	32	--
22	104	70	79	105	-	38	35	1
subtotaal	444	338	441	633	636	174	122	1
<u>juni</u>								
23	158	102	103	141	154	58	37	1
24	225	158	140	195	191	109	70	2
25	250	207	131	198	206	138	14	3
26	249	305	140	171	175	161	14	5
subtotaal	882	772	514	705	726	466	14	11
<u>juli</u>								
27	248	360	142	143	171	162	76	7
28	246	378	149	136	172	152	64	7
29	308	489	197	179	212	176	106	9
30	301	387	216	167	174	133	117	9
subtotaal	1.103	1.614	704	625	729	623	363	32
<u>augustus</u>								
31	304	352	218	151	153	125	127	9
32	451	433	282	209	193	198	188	14
33	546	440	339	217	206	222	202	44
34	496	329	255	195	184	189	182	110
35	316	205	152	141	157	156	124	179
subtotaal	x2.113	x1.759	x1.246	x913	x893	x881	x823	356
<u>september</u>								
36	298	180	156	154	190	156	98	266
37	335	154	191	227	171	174	122	303
38	381	152	293	268	151	186	141	280
39	343	137	327	254	146	181	134	313
subtotaal	1.357	623	967	903	658	697	495	x1.162
<u>oktober</u>								
40	248	88	268	181	115	136	95	328
41	161	57	174	145	96	79	73	118
42	130	48	147	133	62	80	46	144
43	155	57	218	194	65	86	49	130
44	128	47	217	131	52	58	44	103
subtotaal	822	297	1.024	784	390	439	307	823
<u>november</u>								
45	138	41	188	119	41	93	34	54
46	98	17	109	78	22	28	23	28
47	65	6	61	33	6	12	10	16
48	28	2	43	8	2	3	8	7
subtotaal	329	66	401	238	71	136	75	105
totaal	7.234	5.600	5.477	5.075	4.409	3.459	2.331	2.450

Berekening van de netto koelcapaciteit en de netto koelenergie van een voorkoelcel van ca. 170 ton tomaten (288 pallets) met horizontale luchtcirculatie

Gegevens

Cel: afmetingen inwendig: lxbxh = 15,5 m x 15 m x 4,25 m.

Inhoud van de cel: 988,13 m³.

Oppervlak vloer : 232,5 m² ; isolatie K = 0,5 W/m²·K.

Oppervlak plafond: 232,5 m² ; isolatie K = 0,3 W/m²·K.

Oppervlak wanden : 259,3 m² ; isolatie K = 0,5 W/m²·K.

Isolatie: polystyreenschuim of polyurethaanschuim: 0,14 m dik; dichtheid 20 kg/m³, soortelijke warmte 1,38 kJ/kg·K.

Vloer boven isolatielaag: beton; 0,15 m dik; dichtheid 2200 kg/m³, soortelijke warmte 0,88 kJ/kg·K.

Produkt:

kg/kistje: 6 kg.

Soortelijke warmte: 3,94 kJ/kg·K.

Warmteproductie gegeven door: $q = Ae^{-\frac{B}{T}}$ |kW/ton|

met A = 1,78 x 10⁻¹⁰ kW/ton

B = 7,6 x 10⁻³ K

T = abs. temperatuur van het produkt |K|

Vochtafgifte: $\dot{m} = 3 \times 10^{-11}$ kg water/kg produkt·Pa·s.

Hoeveelheid: 288 x 600 kg = 172.800 kg.

Verpakking

Pallet 100 cm x 120 cm; gewicht 25 kg; draagt 100 kistjes.

Kistje: gewicht 0,8 kg.

Materiaal: hout; soortelijke warmte 2,72 kJ/kg·K.

Hoeveelheid hout: (25 kg + 100 x 0,8 kg) x 288 = 30.240 kg.

Temperaturen

Tomaattemperatuur: 301 K (28°C).

Buitenluchttemperatuur: gemiddeld gedurende de nacht 291 K (18°C).

Koeltraject: 15 K (15°C).

Luchttemperatuur in de cel in de eindfase: 286 K (13°C).

Grondtemperatuur: 285 K (12°C).

Afkoeltijd: $T = 10$ h.

Circulatie

A: 15 x celinhoud per uur.

Luchtsnelheid $v = 0,3$ m/s; halfkoeltijd $t_{\frac{1}{2}} = 2$ h; h.u.v. alleen exponentiële koeling is mogelijk (zie hoofdstuk 7.4.).

B: 30 x celinhoud per uur.

Luchtsnelheid $v = 0,6$ m/s; halfkoeltijd $t_{\frac{1}{2}} = 1$ h; h.u.v. lineaire koeling is mogelijk (zie hoofdstuk 7.4.).

Voor $T = 10$ h en $t_{\frac{1}{2}} = 1$ h

volgt $t_1 = 5,65$ h en $\frac{T-T_1}{T_a-T_1}$ op dat moment = 0,2.

De berekening van het te installeren netto koelvermogen en de netto koelenergie is uitgevoerd met een rekenprogramma (zie Sprenger Instituut rapport no. 2019).

Het resultaat voor een direct koelsysteem ($\Delta T_k = 5$ K (5°C)) is gegeven in de volgende tabel.

	netto koelvermogen		netto koelenergie	
	A(exp.) kW	B(lin) kW	A(exp) kWh	B(lin) kWh
veldwarmte lucht			2,49	2,49
veldwarmte produkt	983,16	400,93	2836,80	2836,80
veldwarmte emballage	118,78	48,44	342,72	342,72
warmteproduktie	33,27	33,28	140,69	164,24
instraling	0,88	-1,23	8,81	-2,84
ventilatorwarmte	1,06	2,12	10,58	21,16
vochthuishouding >	0,82	0,39	2,00	1,73
condenskoeler <	-0,24	-0,28	-1,04	-0,70
	1137,73	483,65	3343,05	3368,44

Opmerkingen

De lineaire koelmethode (zie hoofdstuk 7.4.) met hogere luchtcirculatie vraagt

een te installeren netto koelvermogen van 484 kW. De exponentiële koelmethode, die noodzakelijk is om het produkt in de beschikbare tijd te koelen bij een te lage luchtcirculatie vraagt een te installeren netto koelvermogen van 1138 kW. De voor de koeling gebruikte koelenergie is bij de eerstgenoemde koelmethode iets groter. Dit is een gevolg van de hogere produkttemperatuur die, bij die methode gemiddeld over de beschikbare koeltijd voorkomt en die samengaat met een grotere produktie van warmte. In de bovenstaande berekening is niet opgenomen de koelenergie, die eventueel nodig is voor het afkoelen van de koelcel.

Een schatting van deze bijdrage wordt op basis van een dagtemperatuur van 300 K (27°C):

$$\begin{aligned} \text{wanden + plafond: } & 565 \text{ m}^2 \times 0,14 \text{ m} \times 20 \text{ kg/m}^3 \times 1,38 \text{ kJ/kg}\cdot\text{K} \times 14 \text{ K} \\ & = 30564 \text{ kJ} \\ \text{vloer: } & 248 \text{ m}^2 \times 0,015 \text{ m} \times 2200 \text{ kg/m}^3 \times 0,88 \text{ kJ/kg}\cdot\text{K} \times 14 \text{ K} \\ & = \frac{100827 \text{ kJ}}{131391 \text{ kJ}} \end{aligned}$$

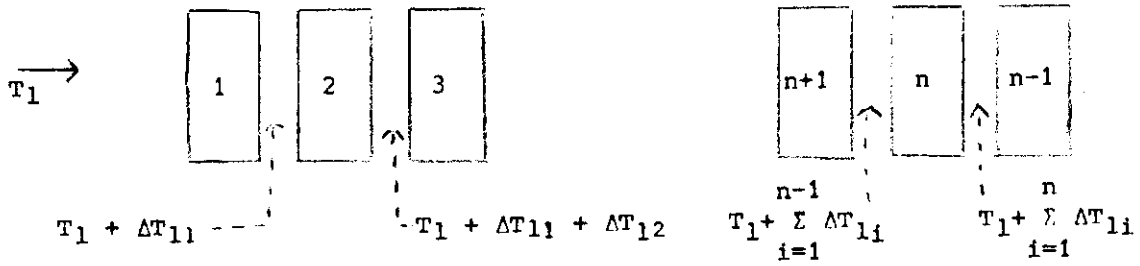
of 36,50 kWh.

Daarmee komt het maximaal te verwachten gebruik van koelenergie voor cellen van dit type netto op 3405 kWh of op 19,7 kWh per ton gekoeld produkt.

Het elektriciteitsverbruik van de ventilatoren is ca. $\frac{21,16 \text{ kWh}}{172,8 \text{ ton}} = 0,1225 \text{ kWh/ton}$.

De af te voeren veldwarmte van produkt en verpakking vraagt hiervan het grootste aandeel nl. 18,4 kWh. Voor de overige warmtebronnen moet dus worden gerekend met een toeslag van ca. 7% hierop.

Palletstapelings in een rij (afleiding van een vergelijking voor τ)
 Voor de afkoeling van een n-de element in een rij geldt:



$$\frac{T_n - (T_1 + \sum_{i=1}^{n-1} \Delta T_{1i})}{T_a - (T_1 + \sum_{i=1}^n \Delta T_{1i})} = e^{-kt} \quad (1)$$

Voor de warmtebalans van het n-de element geldt:
 warmteafgifte produkt = warmteopname lucht

$$- mc_{pr} \left(\frac{dT}{dt}\right)_n = c_1 \rho_1 \phi \Delta T_{1n} \quad (2)$$

$\phi = \text{circulatie} \quad [m^3/h]$

Uit (1) volgt:

$$\left(\frac{dT}{dt}\right)_n = (T_a - T_1 - \sum_{i=1}^{n-1} \Delta T_{1i}) \cdot -k \cdot e^{-kt}$$

en uit (3) volgt:

$$\Delta T_{1n} = \frac{mc_{pr} \cdot k}{c_1 \rho_1 \phi} (T_a - T_1 - \sum_{i=1}^{n-1} \Delta T_{1i}) e^{-kt}$$

$$= C (T_a - T_1) e^{-kt} - C \sum_{i=1}^{n-1} \Delta T_{1i} e^{-kt} \quad (3)$$

met $C = \frac{mc_{pr} \cdot k}{c_1 \rho_1 \phi} \quad (4)$

$$\Delta T_{11} = C (T_a - T_1) e^{-kt}$$

$$\Delta T_{12} = C (T_a - T_1) e^{-kt} - C \Delta T_{11} e^{-kt}$$

$$\begin{aligned}
 &= C (T_a - T_1) e^{-kt} - C^2 (T_a - T_1) e^{-2kt} \\
 &= C (T_a - T_1) e^{-kt} (1 - C e^{-kt})
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \Delta T_{13} &= C (T_a - T_1) e^{-kt} - C (\Delta T_{11} + \Delta T_{12}) e^{-kt} \\
 &= C (T_a - T_1) e^{-kt} - 2C^2 (T_a - T_1) e^{-2kt} + C^3 (T_a - T_1) e^{-3kt} \\
 &= C (T_a - T_1) e^{-kt} (1 - C e^{-kt})^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \Delta T_{14} &= C (T_a - T_1) e^{-kt} - C (\Delta T_{11} + \Delta T_{13}) e^{-kt} \\
 &= C (T_a - T_1) e^{-kt} - 3C^2 (T_a - T_1) e^{-2kt} + 3C^3 (T_a - T_1) e^{-3kt} - C^4 (T_a - T_1) e^{-4kt} \\
 &= C (T_a - T_1) e^{-kt} (1 - C e^{-kt})^3
 \end{aligned}$$

$$\Delta T_{1n} = C (T_a - T_1) e^{-kt} (1 - C e^{-kt})^{n-1} \quad (5)$$

H.u.v.: De opwarming van de lucht na n-elementen

$$\Delta T_{\text{totaal}} = \sum_{i=1}^n \Delta T_{1i} = C (T_a - T_1) e^{-kt} \frac{\{1 - (1 - C e^{-kt})^n\}}{\{1 - (1 - C e^{-kt})\}}$$

$$\Delta T_{\text{totaal}} = \sum_{i=1}^n \Delta T_{1i} = (T_a - T_1) \{1 - (1 - C e^{-kt})^n\} \quad (6)$$

en het temperatuurverloop van het n-de element (centrum) als functie van de tijd $T_n = f(t)$ door substitutie van

$$\sum_{i=1}^{n-1} \Delta T_{1i} \text{ volgens vgl. (6) in vgl. (1).}$$

$$\frac{T_n - T_1}{T_a - T_1} = \left[1 + \{1 - (1 - C e^{-kt})^{n-1}\} (e^{kt} - 1) \right] e^{-kt} \quad (7)$$

| ← correctiefactor → |

Het verschil in afkoeltijd tussen een eerste en een laatste stapel in een rij kan ook worden voorgesteld als een vertraging in de tijd τ [h] waarbij τ het verschil in tijd weergeeft, dat nodig is om bij de laatste stapel van de rij hetzelfde koeleffect te bereiken als bij de eerste stapel van de rij.

$$\frac{T_n - T_1}{T_a - T_1} = e^{-k(t - \tau)} \quad (8)$$

Met $\tau = f(t \text{ en } \phi \text{ via } C)$ voor een gegeven stapeling. De functie τ wordt dan gedefinieerd door:

$$e^{k\tau} = 1 + \{1 - (1 - Ce^{-kt})^{n-1}\} (ekt - 1)$$

of $\tau = \frac{1}{k} \ln \{ekt - (1 - Ce^{-kt})^{n-1} (ekt - 1)\}$ (9)

Theorie bij de nomogrammen fig. 6 en 7

In luchtcirculatiesystemen kan een inzicht worden verkregen aan de hand van de vergelijking van Bernouilli:

$$-\left\{ \int_1^2 \frac{1}{\rho_1} dp + g (h_2 - h_1) + \frac{1}{2} (v_2^2 - v_1^2) \right\} \phi_m + P_v - A_{wr} \phi_m = 0. \quad (1)$$

Rondgaande in een gesloten circulatiesysteem vallen de eerste drie termen weg. Het blijkt, zoals verwacht mag worden, dat het nuttig ventilatorvermogen P_v geheel gebruik wordt voor het overwinnen van de wrijvingsverliezen in het systeem.

$$\underline{P_v = A_{wr} \phi_m}. \quad (2)$$

Daarin is ϕ_m de massastroom. In het geval van ronde pijpen:

$$\phi_m = \rho_1 \frac{\pi D^2}{4} \bar{v} \quad (3)$$

$$A_{wr} = \sum_i \left(f \frac{L}{D} \cdot \frac{1}{2} \bar{v}^2 \right)_i + \sum_j \left(K_w \cdot \frac{1}{2} \bar{v}^2 \right)_j. \quad (4)$$

De eerste term van A_{wr} is de sommatie van de wrijvingsenergie in leidingen en spleten van een gegeven lengte L . De tweede term vormt de som van de energie die bij plaatselijke overgangen en bochten verloren gaat, respectievelijk omgezet wordt in warmte.

Het opgenomen vermogen van de ventilatormotor E_o wordt met een rendement η_m omgezet in een asvermogen. Het asvermogen wordt omgezet in een nuttig ventilatorvermogen met een rendement η_v .

$$P_v = \eta_v \eta_m E_o = \eta_t E_o \quad \begin{array}{l} \eta_m \approx 0,8 - 0,9 \\ \eta_v \approx 0,1 - 0,5 \end{array} \quad (5)$$

Wordt de motor buiten het systeem geplaatst, dan wordt $\frac{P_v}{\eta_v}$ als warmtebelasting in het systeem gebracht; met de motor in het systeem wordt E_o als warmtebelasting ondervonden.

Uit het voorgaande volgt, dat voor ronde rechte pijpen met constante doorsnede geldt:

$$P_v = \rho_1 \cdot \frac{\pi D^2}{4} \cdot \bar{v} \cdot f \frac{L}{D} \cdot \frac{1}{2} \bar{v}^2 = \rho_1 \cdot \frac{\pi}{8} \cdot D \cdot L \cdot f \cdot \bar{v}^3$$

$$\text{of } \boxed{\frac{P_v}{L} = \frac{\pi}{8} \cdot f \cdot \rho_1 \cdot \bar{v}^3 \cdot D} \quad \left[\frac{W}{m} \right] \quad (6)$$

$$\text{en } \boxed{\frac{E_o}{L} = \eta_t^{-1} \cdot \frac{P_v}{L}} \quad \left[\frac{W}{m} \right] \quad (7)$$

De uitwerking van de formules 6 en 7 is gegeven in het nomogram van figuur 6. De wrijvingscoëfficiënt f is:

$f \approx 0,02$ voor gladde pijpen

$f \approx 0,04$ voor ruwe pijpen

Per bocht in het leidingnet moet worden gerekend op een bijdrage in het benodigde ventilatorvermogen van:

$$P_v = \rho_1 \frac{\pi D^2}{4} \cdot \bar{v} \cdot K_w \cdot \frac{1}{2} \bar{v}^2$$

$$\boxed{P_v = \frac{\pi}{8} \cdot K_w \cdot \rho_1 \cdot \bar{v}^3 \cdot D^2} \quad [W] \quad (8)$$

$$\text{en } \boxed{E_o = \eta_t^{-1} P_v} \quad [W] \quad (9)$$

De uitwerking van de formules 8 en 9 is gegeven in het nomogram van figuur 7.

De wrijvingscoëfficiënt K_w bedraagt voor korte of half lange 90° bochten ca. 0,7.

Afleiding van de formules voor de vaststelling van de
kostprijs per bedrijfsuur van vier systemen voor intern
transport (de formules 11, 12, 13 en 14).

a) Trucktransport.

S = transportafstand (enkel) in m.

v = gemiddelde rijsnelheid in m/s.

Het opnemen of neerzetten van een pallet kost 30 s.

Eén palletcyclus vindt dan plaats in $(60 + \frac{2S}{v})$ seconden.

Eén heftruck kan per uur $\frac{3600}{(60 + \frac{2S}{v})}$ pallets behandelen.

Voor een capaciteit van N pallets/h zijn $\frac{N (60 + \frac{2S}{v})}{3600}$ heftrucks nodig.

met f_t = truckkosten per uur (zie tabel 9) wordt de kostprijs K_T van deze wijze van intern transport

$$K_T = \frac{N \cdot f_t \cdot (60 + \frac{2S}{v})}{3600} \quad (11)$$

b) Aangedreven rollenbaan + in- en uitslag door middel van heftrucks.

f_b = kostprijs per meter rollenbaan per uur (zie rapport blz. 43).

Wanneer de transportafstand gelijk is aan S meter worden de exploitatiekosten voor de rollenbaan per uur gegeven door $f_b \cdot S$.

Daarnaast vindt heftrucktransport plaats voor het voeden van de rollenbanen en het lossen van de rollenbaan inclusief de in- of uitslag van een koelcel.

De cyclustijd per pallet is voor het vullen van de rollenbaan gesteld op 1 min. en voor het lossen van de rollenbaan, inclusief de inslag in een koelcel, op 2 min.

Het aantal benodigde vorkheftrucks voor een capaciteit van N pallets/h wordt dan voor het vullen van de baan $\frac{N}{60}$ en voor het lossen van de baan $\frac{N}{30}$.

Totaal zijn $\frac{N}{60} + \frac{N}{30} = \frac{N}{20}$ vorkheftrucks nodig.

De kostprijs K_b voor deze wijze van intern transport wordt dan:

$$K_b = f_b \cdot S + \frac{N}{20} f_t \quad (12)$$

c) Aangedreven rollenbaan gecombineerd met een gemechaniseerd in- en uitslagsysteem voor koelcellen.

Het verschil met het systeem van intern transport beschreven onder b is, dat de cyclustijd per pallet voor een heftruck tijdens het lossen van de rollenbaan wordt teruggebracht tot 1 min. De heftruck verplaatst de pallet van het eindpunt van de rollenbaan naar het startpunt van het gemechaniseerde in- en uitslagsysteem. Het aantal benodigde heftrucks wordt in dat geval $\frac{N}{60} + \frac{N}{60} = \frac{N}{30}$.

De vaste uurkosten van het in- en uitslagsysteem moeten worden toegevoegd = f_g (zie rapport blz. 43)

$$K_g = f_b \cdot S + \frac{N}{30} \cdot f_t + f_g \quad (13)$$

d) Vloerbaantransporteur.

De kostprijs voor dit transportsysteem is opgebouwd uit een kostprijs per uur per meter transportafstand f_v (zie rapport blz. 44) en een kostprijs per uur per lid van het bedienend personeel f_w (zie tabel 10). Wordt gerekend met een cyclustijd per pallet van 2 min. voor het vullen van de baan en een cyclustijd van 3 min. voor het lossen van de baan, incl. de inslag in een koelcel, dan zijn voor een capaciteit van N pallets/h $\frac{N}{30} + \frac{N}{20} = \frac{N}{12}$ personen nodig en even zoveel extra handpalletwagens boven de handpalletwagens welke zich in de baan bevinden.

$$K_v = f_v \cdot S + \frac{N}{12} \cdot f_w \quad (14)$$

Berekening van het toegestane aantal palletstapelings in een rij bij de toepassing van de koelmethode waarmee het doorkleuren van tomaten kan worden tegengegaan.

Het tijdschema van de genoemde koelmethode voor een enkelvoudige palletstapeling in een luchtstroom van 0,5 à 0,6 m/s ($t_{\frac{1}{2}} = 1$ h) is als volgt (zie samenvatting hoofdstuk 3.4.):

inkoelen 4 h (met luchttemperatuur 9°C of 382 K)
 stationaire fase 4 à 5 h (met luchttemperatuur 10°C of 383 K)
 opwarmen 4 h (met lucht van dauwpuntstemperatuur).

Voor de berekening wordt gebruik gemaakt van een in een aangepaste vorm geschreven formule 5.

$$n = \left| \frac{\ln(e^{kt} - e^{k\tau}) - \ln(e^{kt} - 1) + 1}{\ln(1 - Ce^{-kt})} \right| \quad (2)$$

waarin $k = \frac{\ln 2}{t_{\frac{1}{2}}} = 0,69314 \text{ h}^{-1}$

$$C = \frac{1469}{\phi \cdot t_{\frac{1}{2}}} = \frac{1469}{480 \times 1} = 3,06$$

n = aantal palletstapelings in een rij.

Gezien de lengte van de stationaire fase kan als criterium voor het bepalen van n worden gekozen $\tau = 3$ h. Dit wil zeggen, dat in de stationaire fase en 7 h na de start van de koeling het centrum van de n -de palletstapel in de rij dezelfde temperatuur heeft aangenomen als de eerste palletstapel na de inkoelperiode van $t = 4$ h.

Invullen van $t = 4$ h en $\tau = 3$ h in formule 1 levert op:

$$n = \frac{\ln(15.999 - 7.999) - \ln(14.999)}{\ln(1 - 3,06 \times 0,0625)} + 1$$

$$= \frac{2,0794 - 2,7079}{-0,2123} + 1 = 3,96$$

$$n \approx 4$$

Het vochtonttrekkend vermogen van koelprocessen

Om het vochtonttrekkend vermogen van een koelproces vast te leggen wordt de volgende grootte gehanteerd:

$$\int_0^T \Delta p_d dt \quad |Pa \cdot h| \quad (1)$$

waarin T = duur van het koelproces [h]

Δp_d = dampdrukdeficit = de verzadigingsdampdruk bij de produkttemperatuur ($p_{s,p}$) minus de dampdruk van de koelluchttemperatuur ($p_{d,1}$)

De laatstgenoemde wordt afgeleid van de verzadigingsdampdruk bij de koelluchttemperatuur $p_{s,1}$. De toegepaste verhouding $\frac{p_{d,1}}{p_{s,1}}$ is voor de verschil-

lende conditioneermethoden gegeven in de tabellen 12 en 13 van het rapport.

De produkttemperatuur T_p tijdens het koelproces is gevonden door middel van de formule:

$$\frac{T_p - T_1}{T_a - T_1} = e^{-\frac{\ln 2}{t_{\frac{1}{2}}} \cdot t} \quad (2)$$

De verzadigingsdampdruk bij een temperatuur volgt uit de formule van Magnuson:

$$\log p_s = 2,7857 + \frac{7,5T}{237,2 + T} \quad \text{waarin: } T \text{ in } [^{\circ}\text{C}] \quad (3)$$

en p_s in [Pa]

In de volgende tabel is voor 10 koelprocessen berekend de integraal:

$$\int_0^T \Delta p_d dt \text{ in de vorm } \Sigma \Delta p_d \cdot \Delta t$$

Deze integraal is aan het slot van de tabel verhoudingsgewijze weergegeven. Daarmee is verhoudingsgewijze ook weergegeven de waarde van het vochtonttrekkend vermogen van de processen. De 10 koelprocessen zijn met hun kenmerken vermeld in tabel 13 van het rapport.

KOELPROCES 3

KOELPROCES 2

KOELPROCES 1

nr tijd

tap

h	T _p	P _{sp}	1			2			3			4			1			2			3										
			°C	Pa	Pa	ΔP _d	P _{dI}	Pa	Pa	ΔP _d	P _{dI}	Pa	Pa	ΔP _d	T _p	P _{sp}	Pa	Pa	ΔP _d	P _{dI}	Pa	Pa	ΔP _d	T _p	P _{sp}	Pa	Pa	ΔP _d	P _{dI}	Pa	Pa
0	28,0	3779	2377	2552	2907	28,0	3779	2377	2552	2907	28,0	3779	2377	2552	2907	23,0	3779	2458	2458	2458	2458	28,0	3779	2632	2632	2632	2632	2778	2778	2778	3074
1	27,3	3633	2231	2406	2761	25,5	3255	1853	2028	2383	27,2	3609	1853	2028	2383	22,2	3609	2343	2343	2343	2343	25,0	3164	2017	2017	2017	2163	2163	2163	2459	
2	26,7	3498	2096	2271	2626	23,3	2863	1461	1636	1991	26,4	3444	1461	1636	1991	21,4	3444	2231	2231	2231	2231	22,4	2715	1568	1568	1568	1714	1714	1714	2010	
3	26,1	3372	1970	2145	2500	21,5	2566	1164	1339	1694	25,6	3286	1164	1339	1694	20,6	3286	2125	2125	2125	2125	20,3	2382	1235	1235	1235	1381	1381	1381	1677	
4	25,5	3255	1853	2028	2383	20,0	2338	936	1111	1466	24,8	3134	936	1111	1466	19,8	3134	2023	2023	2023	2023	18,5	2130	983	983	983	1129	1129	1129	1425	
5	24,9	3146	1744	1919	2274	18,7	2160	758	933	1288	24,0	2988	758	933	1288	19,0	2988	1925	1925	1925	1925	17,0	1936	789	789	789	935	935	935	1231	
6	24,3	3045	1643	1818	2173	17,7	2020	618	793	1148	23,2	2848	618	793	1148	18,2	2848	1832	1832	1832	1832	15,7	1785	638	638	638	784	784	784	1080	
7	23,8	2951	1549	1724	2079	16,8	1908	506	681	1036	22,4	2714	506	681	1036	17,4	2714	1742	1742	1742	1742	14,6	1667	520	520	520	666	666	666	962	
8	23,3	2863	1461	1636	1991	16,0	1818	416	591	946	21,6	2586	416	591	946	16,6	2586	1657	1657	1657	1657	13,8	1572	425	425	425	571	571	571	867	
9	22,8	2781	1379	1554	1909	15,4	1745	343	518	873	20,8	2463	343	518	873	15,8	2463	1575	1575	1575	1575	13,0	1497	350	350	350	496	496	496	792	
10	22,4	2705	1303	1478	1833	14,8	1686	284	459	814	20,0	2345	284	459	814	15,0	2345	1496	1496	1496	1496	12,3	1435	288	288	288	434	434	434	730	
11	21,9	2633	1231	1406	1761	14,4	1638	236	411	766	19,2	2232	236	411	766	14,2	2232	1421	1421	1421	1421	11,8	1386	239	239	239	385	385	385	681	
12	21,5	2566	1164	1339	1694	14,0	1598	196	371	726	18,4	2124	196	371	726	13,4	2124	1350	1350	1350	1350	11,4	1345	198	198	198	344	344	344	640	
13	21,1	2504	1102	1277	1632	13,7	1565	163	338	693	17,7	2020	163	338	693	12,7	2020	1281	1281	1281	1281	11,0	1312	165	165	165	311	311	311	607	
14	20,7	2445	1043	1218	1573	13,4	1538	136	311	666	16,9	1921	136	311	666	12,0	1921	1227	1227	1227	1227	10,7	1284	137	137	137	283	283	283	579	
15	20,3	2390	988	1163	1518	13,2	1516	114	289	644	16,1	1830	114	289	644	12,0	1830	1227	1227	1227	1227	10,4	1262	115	115	115	261	261	261	557	
16	20,0	2337	935	1110	1465	13,0	1497	95	270	625	15,4	1754	95	270	625	12,0	1754	1227	1227	1227	1227	10,2	1243	96	96	96	242	242	242	538	
17	19,7	2289	887	1062	1417	12,8	1482	80	255	610	14,9	1693	80	255	610	12,0	1693	1227	1227	1227	1227	10,0	1227	80	80	80	226	226	226	522	
18	19,3	2243	841	1016	1371	12,7	1469	67	242	597	14,4	1644	67	242	597	12,0	1644	1227	1227	1227	1227	9,8	1214	67	67	67	213	213	213	509	
19	19,0	2200	798	973	1328	12,6	1458	56	231	586	14,0	1603	56	231	586	12,0	1603	1227	1227	1227	1227	9,7	1203	56	56	56	202	202	202	498	
20	18,7	2160	758	933	1288	12,5	1449	47	222	577	13,7	1569	47	222	577	12,0	1569	1227	1227	1227	1227	9,6	1194	47	47	47	193	193	193	489	
21	18,4	2122	720	895	1250	12,4	1441	39	214	569	13,4	1542	39	214	569	12,0	1542	1227	1227	1227	1227	9,5	1187	40	40	40	186	186	186	482	
22	18,2	2085	683	858	1213	12,3	1435	33	208	563	13,2	1519	33	208	563	12,0	1519	1227	1227	1227	1227	9,4	1180	33	33	33	179	179	179	475	

nr	stap	tijd	KOELPROCES 1						KOELPROCES 2						KOELPROCES 3											
			Tp	Psp	Pa	ΔPd	PdI	PdI	Tp	Psp	Pa	ΔPd	PdI	PdI	Tp	Psp	Pa	ΔPd	PdI	PdI	Tp	Psp	Pa	ΔPd	PdI	PdI
			°C	Pa	Pa	Pa	Pa	Pa	°C	Pa	Pa	Pa	Pa	Pa	°C	Pa	Pa	Pa	Pa	°C	Pa	Pa	Pa	Pa	Pa	Pa
23		5½	17,9	2032	650	825	1180	12,3	1430	28	.203	558	13,0	1500	12,0	1227	273	9,4	1175	28	174	470				
24		6	17,7	2020	618	793	1148	12,2	1425	23	198	553	12,9	1484	12,0	1227	257	9,3	1171	24	170	466				
25		6½	17,4	1989	587	762	1117	12,2	1422	20	195	550	12,7	1471	12,0	1227	244	9,3	1167	20	166	462				
26		6½	17,2	1960	558	733	1088	12,2	1418	16	191	546	12,6	1459	12,0	1227	232	9,2	1164	17	163	459				
27		6½	17,0	1933	531	706	1061	12,1	1416	14	189	544	12,5	1450	12,0	1227	223	9,2	1161	14	160	456				
28		7	16,8	1907	505	680	1035	12,1	1414	12	187	542	12,4	1443	12,0	1227	216	9,1	1159	12	158	454				
29		7½	16,6	1883	481	656	1011	12,1	1412	10	185	540	12,4	1436	12,0	1227	209	9,1	1157	10	156	452				
30		7½	16,4	1860	458	633	988	12,1	1410	8	183	538	12,3	1431	12,0	1227	204	9,1	1155	8	154	450				
31		7½	16,2	1838	436	611	966	12,1	1409	7	182	537	12,3	1426	12,0	1227	199	9,1	1154	7	153	449				
32		8	16,0	1818	416	591	946	12,1	1408	6	181	536	12,2	1422	12,0	1227	195	9,1	1153	6	152	448				
33		8½	15,8	1798	396	571	926	12,1	1407	5	180	535	12,2	1419	12,0	1227	192	9,1	1152	5	151	447				
34		8½	15,7	1779	377	552	907	12,0	1406	4	179	534	12,2	1416	12,0	1227	189	9,1	1151	4	150	446				
35		8½	15,5	1762	360	535	890	12,0	1405	3	178	533	12,1	1414	12,0	1227	187	9,0	1151	4	150	446				
36		9	15,4	1745	343	518	873	12,0	1405	3	178	533	12,1	1412	12,0	1227	185	9,0	1150	3	149	445				
37		9½	15,2	1729	327	502	857	12,0	1404	2	177	532	12,1	1411	12,0	1227	184	9,8	1210	37	177	454				
38		9½	15,1	1714	312	487	842	12,0	1404	2	177	532	12,1	1409	12,0	1227	182	10,5	1266	70	200	459				
39		9½	15,0	1700	298	473	828	12,0	1404	2	177	532	12,1	1408	12,0	1227	181	11,0	1314	95	216	457				
40		10	14,8	1686	284	459	814	12,0	1403	1	176	531	12,1	1407	12,0	1227	180	11,5	1356	114	226	448				
41		10½	14,7	1673	271	446	801	12,0	1403	1	176	531	12,0	1406	12,0	1227	179	11,9	1392	127	230	433				
42		10½	14,0	1661	259	434	789	12,0	1403	1	176	531	12,0	1406	12,0	1227	179	12,2	1423	135	228	413				
43		10½	14,5	1649	247	422	777	12,0	1403	1	176	531	12,0	1405	12,0	1227	178	12,5	1450	139	223	390				
44		11	14,4	1638	236	411	766	12,0	1403	1	176	531	12,0	1405	12,0	1227	178	12,7	1473	140	214	362				

nr	tijd	KOELPROCES 1						KOELPROCES 2						KOELPROCES 3					
		T _p	P _{sp}	ΔP _d	P _a	P _{d1}	P _{d1}	T _p	P _{sp}	ΔP _d	P _a	P _{d1}	P _{d1}	T _p	P _{sp}	ΔP _d	P _a	P _{d1}	P _{d1}
h	°C	Pa	Pa	Pa	Pa	Pa	°C	Pa	Pa	Pa	Pa	Pa	°C	Pa	Pa	Pa	Pa	Pa	Pa
15	11½	14,3	1627	225	400	755	12,0	1403	1	176	531	12,0	1404	12,0	1404	177	1492	136	201
16	11½	14,2	1617	215	390	745	12,0	1403	1	176	531	12,0	1404	12,0	1404	177	1508	129	185
17	11½	14,1	1607	205	380	735	12,0	1403	1	176	531	12,0	1404	12,0	1404	177	1522	120	166
18	12	14,0	1598	196	371	726	12,0	1403	1	176	531	12,0	1404	12,0	1404	177	1534	109	146
19	12½	13,9	1589	187	362	717	12,0	1403	1	176	531	12,0	1403	12,0	1403	176	1544	96	124
20	12½	13,8	1581	179	354	709	12,0	1403	1	176	531	12,0	1403	12,0	1403	176	1553	82	100
21	12½	13,8	1573	171	346	701	12,0	1403	1	176	531	12,0	1403	12,0	1403	176	1560	66	75
22	13	13,7	1565	163	338	693	12,0	1402	0	175	530	12,0	1403	12,0	1403	176	1566	49	49
		Σ ΔP _d		41247	50522	69337	Σ ΔP _d		12155	21430	40245	Σ ΔP _d		23827	Σ ΔP _d		14523	21043	34215

Σ ΔP _d Δt	3,39	4,16	5,70	1,00	1,76	3,31	1,96	1,19	1,73	2,81
verhoudingsgewijs :	3,39	4,16	5,70	1,00	1,76	3,31	1,96	1,19	1,73	2,81