

## PM

# Översiktlig beräkning av avdunstning från fri vattenyta – Risängen

## Bakgrund

Detta PM är en översiktlig kvantifiering av hur stora dagvattenvolymer som skulle kunna tänkas avgå till atmosfären genom avdunstning.

Området Risängen har pekats ut som ett utvecklingsområde för industri och därmed finns ett stort behov av exploatering i denna del av Norrköping. Dagvattenutredningen för området Risängen 5:37 påvisar stora svårigheter att kunna föra bort de avrinningsvolymer som genereras vid ett dimensionerande regn. Mark- och exploateringskontoret, Norrköpings kommun har bitt WSP översiktligt utreda möjligheten att anlägga avdunstningsdammar i närhet till området, för att dagvatten ska kunna avgå till atmosfären som ett alternativ till avlägsnande av dagvatten från planområdet.

De volymer som behöver tas omhand uppskattas vara ca 9410 m<sup>3</sup> för ett dimensionerande 20-årsregn, och 16 810 m<sup>3</sup> för ett dimensionerande 100-årsregn med 100 % hårdgjorda ytor (se WSP Fördjupad dagvattenutredning för del av fastigheten Risängen 5:37 med närområde, Norrköpings kommun, revidering av Granskningshandling daterad 2016-07-06). Vi har här utgått efter de volymer som vi tidigare räknat fram behöver fördröjas för ett 20- respektive 100-års regn. I verkligheten skulle dammarna troligtvis behöva dimensioneras för mycket större regn än dessa, så att det finns tillräcklig säkerhet att planområdet inte ska översvämmas då dagvattnet inte hunnit avdunsta.

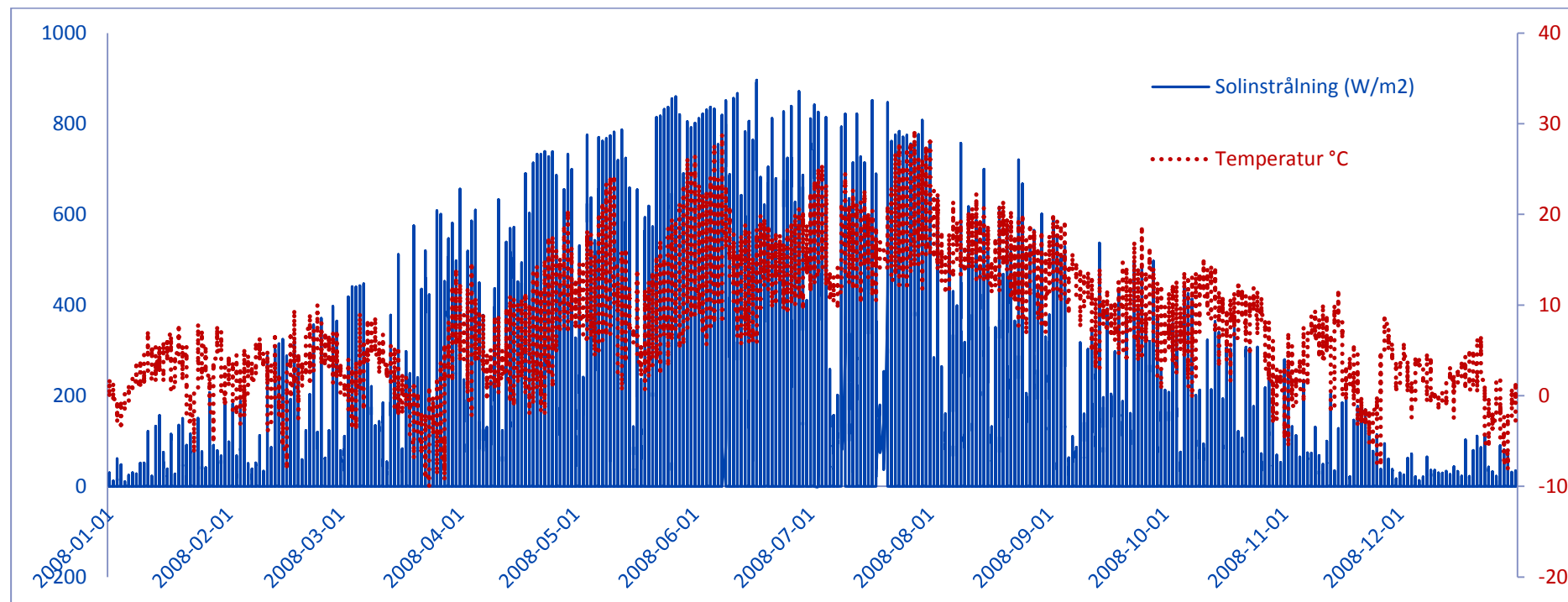
## Teori – avdunstning från fri vattenyta

Evapotranspiration är det vedertagna sammanfattande begrepp som inbegriper det vatten som avgår från jordytan till atmosfären genom avdunstning (evaporation) och genom växternas fotosyntes (transpiration). Potentiell evapotranspiration är den maximala möjliga evapotranspiration, denna får man om tillgången på vatten inte begränsar avdunstning, t.ex. vid avdunstning från en fri vattenyta. Det är då de atmosfäriska förhållandena som styr hur mycket vatten som kan avgå från ytan till atmosfären. Torr varm luft har kapacitet att innehålla mer luft än kall och fuktig. En vind som transporterar bort fuktig luft ovanför vattenytan (och ersätter den med torr som har kapacitet att ta upp mer) är alltså gynnsamt för ökad avdunstning. Ideala förhållanden har vi alltså en varm och solig dag, med torr luft och en frisk vind.

Beräkning av avdunstning kan göras på en mängd olika sätt, med empiriska ekvationer av varierande komplexitet, här använder vi oss av Penmans formel (1948). Variabler som kan ingå i de olika ekvationerna är t.ex. temperatur, höjd över havet, luftfuktighet, vindhastighet, antal timmar per dag med solljus, solinstrålning, nederbörd, markens reflektionsförmåga (albedo), etc.

## Förutsättningarnas variabilitet, Norrköping

Baserat på SMHIs timvisa mätserier av olika meteorologiska variabler visas i Figur 1.

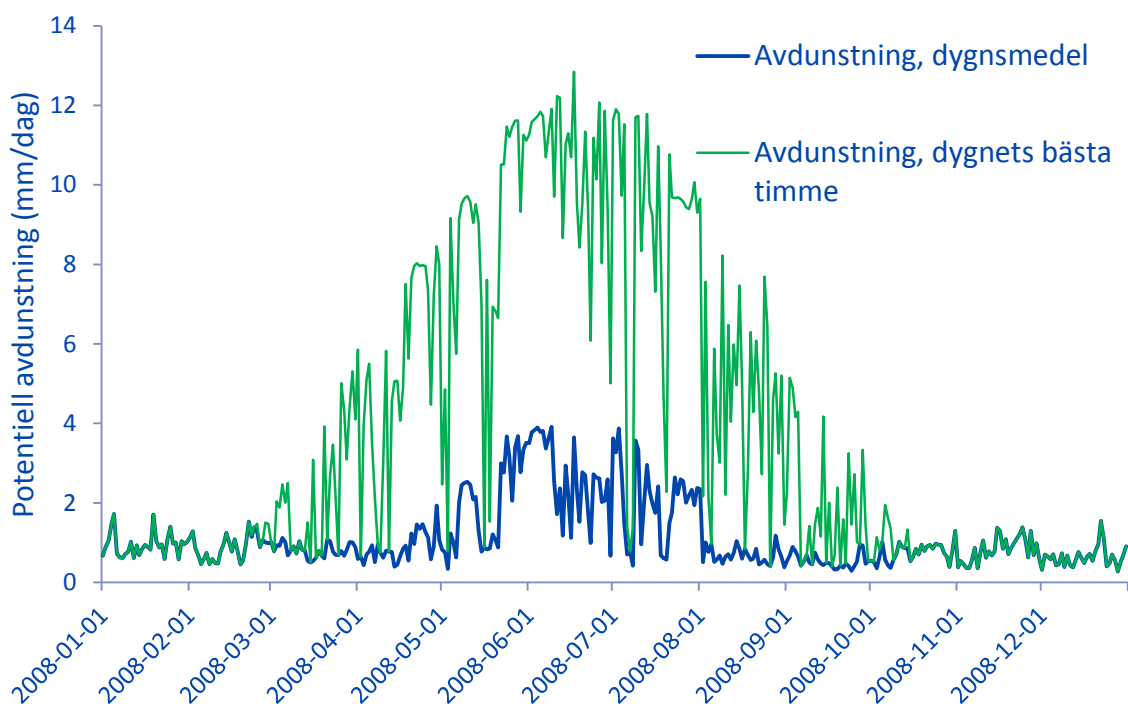


**Figur 1** Här visas hur såväl solinstrålningen som temperaturen varierar över året (generellt högre på sommaren än på vintern) och över dygnet (högre på dagen än på natten). Timvis meteorologisk data från SMHIs mätstation i Norrköping.

Figuren visar att även om både solinstrålningen och temperaturen generellt sett är som högst under sommaren, så kan skillnaderna från dag till dag och/eller timme till timme var mycket stora.

## Uppskattad potentiell avdunstning

För Risängens dagvattenhantering har en översiktlig beräkning gjorts m.h.a. Penmans empiriska formel (Beven 2001, samt LTH websida). Se Bilagorna 1 och 2 för ytterligare beräkningsdetaljer kring Penmans ekvation. I Figur 2 visas hur den potentiella evaporationskapaciteten från en fri vattenyta (t.ex. en damm) kan variera över året. Baserat på meteorologiska parametrar visas såväl dygnsmedelvärdet (blå) som varje dygns optimala evaporationspotential (grönt) under det timvärde då de allra bästa tänkbara förhållanden råder.



Figur 2 Potentiell avdunstning (mm/dag) baserat på meteorologisk indata för 2008.

Figuren visar att även om avdunstningen generellt sett är som störst under sommaren, så kan skillnaderna från dag till dag och/eller timme till timme var mycket stora.

Från beräkningarna fås ett maximalt dygnsvärde för potentiell avdunstning ( $E_0$  i Penmans ekvation) som är ca 13,25 mm/dygn (jämför med det maximala gröna värdet i Figur 2). Medelvärdet (dock med förbehållet att några i realiteten temperaturberoende parametrar antagits vara konstanta, se Bilaga 1) under perioden 1/1 2008 t.o.m. 31/12 2015 är ca 1,06 mm/dygn (jämför med medelvärdet av den blå linjen i Figur 2).

## Areauppskattning, damm Risängen

I tabellerna nedan ges uppskattningar av hur stora/djupa dammar som skulle krävas för att det dagvatten som genereras ska kunna avdunsta. Beräkningarna presenteras i tabellerna 1 och 2 och har gjorts för de scenarier i dagvattenutredningen som kräver minst/störst fördröjningsvolym, d.v.s.:

- ett 20-årsregn med en genomsnittlig hårdgörningsgrad av 75% (*kursiv text*)
- ett 100-årsregn med en genomsnittlig hårdgörningsgrad av 100 % (**fet text**)

I båda beräkningsalternativen antas att det enda vatten som tillförs dammarna under den tid som avdunstning sker är den avrinning som uppkommer av det dimensionerande regnet.

Beräkningarna i tabell 1 använder sig av genomsnittliga värden på de meteorologiska parametrarna. De temperaturberoende parametrar som ingår i ekvationen har satt till konstanta (konservativt valda) värden vilket ger en viss underskattning av den möjliga avdunstningen.

**Tabell 1** Uppskattning av erforderliga areor och djup för att avlägsna vattenvolymer genom avdunstning, med genomsnittlig beräknad potentiell evapotranspiration (ca 1 mm/dag). *Kursiv text anger resultat för 20-årsregn med 75 % hårdgörningsgrad, fet text för 100-årsregn med 100% hårdgörningsgrad.*

Avdunstning från damm (l/s)	Area (m <sup>2</sup> )	Volym (m <sup>3</sup> )	Djup (m)	Tid som krävs för avdunstning (dagar)
2	163 019	<b>16 810</b> / 7665	<b>0,10</b> / 0,05	<b>97</b> / 44
5	407 547	<b>16 810</b> / 7665	<b>0,04</b> / 0,02	<b>39</b> / 18
10	815 094	<b>16 810</b> / 7665	<b>0,02</b> / <0,01	<b>20</b> / 8,9
15	1 222 642	<b>16 810</b> / 7665	<b>0,01</b> / <0,01	<b>13</b> / 5,9
20	1 630 189	<b>16 810</b> / 7665	<b>0,01</b> / <0,01	<b>9.7</b> / 4,4
25	2 037 736	<b>16 810</b> / 7665	<b>&lt;0,01</b> / <0,01	<b>7.8</b> / 3,5
30	2445283	<b>16 810</b> / 7665	<b>&lt;0,01</b> / <0,01	<b>6.5</b> / 3,0

Beräkningarna i tabell 2 bygger på att förutsättningarna för avdunstning är mycket goda (varma, soliga, blåsiga dagar, med låg luftfuktighet och ingen ny nederbörd) under hela tiden avdunstning krävs vilket inte kan garanteras.

**Tabell 2** Uppskattning av erforderliga areor och djup för att avlägsna vattenvolymer genom avdunstning, med optimala avdunstningsförutsättningar (ca 13 mm/dag). *Kursiv text anger resultat för 20-årsregn med 75 % hårdgörningsgrad, fet text för 100-årsregn med 100% hårdgörningsgrad.*

Avdunstning från damm (l/s)	Area (m <sup>2</sup> )	Volym (m <sup>3</sup> )	Djup (m)	Tid som krävs för avdunstning (dagar)
2	13 042	<b>16 810</b> / 7665	<b>1,29</b> / 0,59	<b>97</b> / 44
5	32 604	<b>16 810</b> / 7665	<b>0,52</b> / 0,02	<b>39</b> / 18
10	65 208	<b>16 810</b> / 7665	<b>0,26</b> / <0,01	<b>20</b> / 8,9
15	97 811	<b>16 810</b> / 7665	<b>0,17</b> / <0,01	<b>13</b> / 5,9
20	130 415	<b>16 810</b> / 7665	<b>0,13</b> / <0,01	<b>9.7</b> / 4,4
25	163 019	<b>16 810</b> / 7665	<b>0,10</b> / <0,01	<b>7.8</b> / 3,5
30	195 623	<b>16 810</b> / 7665	<b>0,04</b> / <0,01	<b>6.5</b> / 3,0

Beräkningarna visar givetvis att större magasin krävs för ett 100-årsregn än för ett 20-årsregn, och även att ett magasin med mindre area och därmed lägre avdunstning (volym per tidsenhet) kräver betydligt längre tid för att allt vatten från ett dimensionerande regn ska avdunsta.

Ju högre potentiell avdunstning, desto mindre magasinsyta krävs. För att fördröja volymerna från de dimensionerande regnen krävs alltså mindre men djupare magasin om avdunstningen är stor (jämför Tabell 1 och Tabell 2).

I Figur 3 presenteras en kompletterande karta där ett område norr om Arkösundsvägen med area 1 km<sup>2</sup> har märkts ut för att ge en uppfattning om storleksordningen på de ytor som krävs.



**Figur 3** Som jämförelse till areorna beräknade i Tabell 1 och Tabell 2 är det markerade området i kartan ovan ca 1 km<sup>2</sup> stort.

## Slutsats och rekommendationer

Detta PM är tänkt att ge en fingervisning om hur stora dammar det skulle behövas för att avdunsta de dagvattenvolymer som beräknats i WSPs dagvattenutredning (WSP Fördjupad dagvattenutredning för del av fastigheten Risängen 5:37 med närområde, Norrköpings kommun, revidering av Granskningshandling daterad 2016-07-06).

Beräkningsexemplen ovan visar att mycket stora arealer skulle krävas för att praktiskt kunna använda avdunstning som en metod att avlägsna det dagvatten som genereras i Risängen-området. Detta även då beräkningarna gjorts mycket optimistiskt (Tabell 2) d.v.s., bästa tänkbara avdunstningsförutsättningar har antagits. För att tillräcklig avdunstning ska kunna måste förutsättningarna vara mycket goda under en lägre tid (dagar/veckor) utan att ytterligare vatten (t.ex. från efterkommande regn) tillkommer. Giltigheten av exemplet i Tabell 2 bygger dock på att förutsättningarna för avdunstning under lång tid är mycket goda (varma, soliga, blåsiga dagar, med låg luftfuktighet och ingen ny nederbörd) under hela tiden avdunstning krävs - vilket i verklighet givetvis inte kan garanteras.

WSP anser inte att anläggandet av avdunstningsdammar kommer att ge en tillförlitlig lösning vad gäller dagvattenhanteringen. Även om förutsättningarna är optimala krävs mycket stora ytor för dammarna, och även då tar det då lång tid för att avdunsta de volymer som tillkommer vid ett dimensionerande regn (Tabell 2).

Vi kvantifierar också (Figur 2) att den potentiella avdunstningen uppvisar en mycket stor variabilitet i tiden, såväl mellan årstider som mellan timmar, varpå osäkerheterna kring faktiskt möjlig avdunstningsförmåga vid t.ex. ett 100-årsregn är mycket stora.

Avdunstningen ses under absolut optimala förhållanden (mycket sol, hög temperatur, mitt på dagen, låg luftfuktighet, frisk vind) - i mätdatan 2008-2015 syns såpass goda förutsättningar endast under en timme kunna vara 13,25 mm/dygn. Denna siffra kan jämföras med blockregnsvolymen för ett regn med återkomstid 0,5 år (vanligt återkommande/litet regn) och varaktighet 24 timmar som är 34,7 mm.

Vi har här utgått från att de volymer som WSP tidigare räknat fram behöver fördröjas för ett 20- respektive 100-års regn. I verkligheten skulle dammarna troligtvis behöva dimensioneras för mycket större regn än dessa, så att det finns tillräcklig säkerhet att planområdet inte ska översvämmas då dagvattnet inte hunnit avdunsta.

Vilka dimensionerande regn som faktiskt bör använda vid dimensionering av eventuella avdunstningsdammar bör bestämmas i samråd mellan Tekniska kontoret Norrköpings kommun, VA-huvudmannen och Räddningstjänsten.

## Referenser

Bergström, S., Sveriges Hydrologi, grundläggande hydrologiska förhållanden, SMHI, 1993.

Beven, K., Rainfall-Runoff Modelling the Primer, 2001.

Ekvationer Penman's formula, Lunds Tekniska Högskola, besökt 2016-09-22  
[http://www.tvrl.lth.se/fileadmin/tvrl/files/vvr145/Kompletterande\\_material4.pdf](http://www.tvrl.lth.se/fileadmin/tvrl/files/vvr145/Kompletterande_material4.pdf)

SMHI öppna data, mätstation Norrköping. Timvärden för meteorologiska data (vind, temperatur, relativ luftfuktighet och solstrålning). <http://opendata-download-metobs.smhi.se/explore/>. 2016-09-21.

WSP, Fördjupad dagvattenutredning för del av fastigheten Risängen 5:37 med närområde, Norrköpings kommun, revidering av Granskningshandling daterad 2016-07-06

Norrköping 2016-09-30

WSP Sverige AB

Anna Åkesson

Granskad av: Martin Larsson, Carolina Tovar

## Bilaga 1 Uppskattning av maximal potentiell evapotranspiration, Risängen

För värdena på soltimmar per dag, solinstrålning och vindhastighet har timvärden från SMHIs station i Norrköping (perioden 2008-01-01 till 2015-12-31 använts). Dessa timvärden har medelvärdesbildats per datum för att beräkna potentiell evapotranspiration per dag.

Beräkningsgången i dokumentationen från LTH (Bilaga 2, [www.tvrl.lth.se/fileadmin/tvrl/files/vvr145/Kompletterande\\_materialf4.pdf](http://www.tvrl.lth.se/fileadmin/tvrl/files/vvr145/Kompletterande_materialf4.pdf)) har följts.

Värdena för de temperaturberoende variablerna antagits vara konstanta i den kvantitet som de är kring 20°C när de optimala förutsättningarna antagits, d.v.s. mycket goda avdunsningsförutsättningar har antagits. Följande värden har använts för dessa beräkningar (från Bilaga 2):

$$\sigma \cdot T^4 = 15,0, \Delta/\gamma = 2,48, e_a (\text{mättnadsångtryck})=21,1\text{mm}$$

För beräkning av det genomsnittliga, mer sannolika värdet har dessa tre parametervärden istället valts så att de motsvarat sämre avdunsningsförhållanden (t.ex. lägre temperatur) vilket möjligen gett ett något (underskattat) värde för potentiell avdunstning.

Följande värden har använts för dessa beräkningar (från Bilaga 2):

$$\sigma \cdot T^4 = 15,0, \Delta/\gamma = 0,69, e_a (\text{mättnadsångtryck})=4,0\text{ mm}$$

Albedo ( $r$ ) för vatten har antagits vara 0,05.

Baserat på timvisa mätningar för Norrköping under perioden 1/1 2008 t.o.m. 31/12 2015 fås följande medel- och maxvärden för solinstrålning:

- Medelvärde solinstrålning: 115,6 W/m<sup>2</sup>
- Maximalt timvärde, solinstrålning: 925,7 W/m<sup>2</sup>



## Bilaga 2 Penmans formel, inkl. tabeller för temperaturberoende koefficienter

Ekvationer för beräkning m.h.a. Penmans formel, från [www.tvrl.lth.se/fileadmin/tvrl/files/vvr145/Kompletterande\\_material4.pdf](http://www.tvrl.lth.se/fileadmin/tvrl/files/vvr145/Kompletterande_material4.pdf).

### Penman formula

The penman formula is a semi-empirical equation combining mass transfer ( $E_a$ ) and energy budget ( $H$ ) methods. The formula was developed by Penman in 1948 and is still widely used for calculating the potential evaporation using synoptic meteorological data.

According to Penman the potential evaporation  $E_o$  (in mm/day) can be calculated as:

$$E_o = \frac{\left( \frac{\Delta}{\gamma} H + E_s \right)}{\frac{\Delta}{\gamma} + 1}$$

where  $\frac{\Delta}{\gamma}$  is an empirical parameter depending on temperature (Appendix 11.2.9).

$H$  is calculated as  $H = (1-r)R_{in} - R_o$  where  $R_{in}$  (incoming radiation) is given by

$$(1-r)R_{in} = 0.95R_d(0.18 + 0.55n/N)$$

where  $R_d$  is the solar radiation (Appendix 11.1.1),  $R_o$  is the outgoing radiation,  $r$  is the albedo (0.05 for water), and  $n/N$  is the ration between actual sunshine hours and possible sunshine hours. The term  $n/N$  can also be estimated using the cloudiness, e.g., a cloudiness of 60 % gives an  $n/N$  of 40 % (= 100 - 60).  $R_o$  is calculated by

$$R_o = \sigma T_s^4 (0.56 - 0.09\sqrt{e_d})(0.10 + 0.90n/N)$$

where  $e_d$  is the actual vapor pressure, and  $\sigma T_s^4$  is the theoretical black body radiation (Appendix 11.2.4).

$E_a$  is calculated by

$$E_a = 0.35(0.5 + u_2/100)(e_a - e_d)$$

where  $u_2$  is the wind speed in miles/day (1 mile = 1609 m) and  $e_a$  is the saturation vapor pressure (Appendix 11.2.8). Remember that the relative humidity  $RH = e_d/e_a$ .



#### Appendix 11.2.4 Values of $\sigma T^*$ (mm of water)

(Ministry of Agriculture, Fisheries and Food (1967) *Potential Transpiration*.  
Reproduced by permission of the Controller, Her Majesty's Stationery  
Office, © Crown copyright.)

°F	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
30	11.0	11.1	11.2	11.3	11.4	11.5	11.6	11.6	11.7	11.8
40	11.9	12.0	12.1	12.2	12.3	12.4	12.5	12.6	12.7	12.8
50	12.9	13.0	13.1	13.2	13.3	13.4	13.5	13.6	13.7	13.9
60	14.0	14.1	14.2	14.3	14.4	14.5	14.6	14.7	14.8	14.9
°C										
-0	11.2	11.0								
0	11.2	11.4	11.5	11.7	11.9	12.0	12.2	12.3	12.5	12.7
10	12.9	13.1	13.3	13.5	13.7	13.9	14.0	14.2	14.4	14.6
20	14.8	15.0								

#### Appendix 11.2.8 Air Temperature and Saturation Vapour Pressure (mm)

(Ministry of Agriculture, Fisheries and Food (1967) *Potential Transpiration*.  
Reproduced by permission of the Controller, Her Majesty's Stationery  
Office, © Crown copyright.)

Air temp. (°F)	30 +	40 +	50 +	60 +	Air temp. (°C)	0 +	10 +	20 +
0.0	4.20	6.29	9.21	13.26	-0.5	4.40		
0.5	4.30	6.42	9.38	13.49	0.0	4.58	9.21	17.53
1.0	4.38	6.54	9.56	13.73	0.5	4.75	9.52	
1.5	4.48	6.67	9.74	13.98	1.0	4.93	9.84	18.68
2.0	4.58	6.80	9.92	14.23	1.5	5.11	10.18	
2.5	4.67	6.94	10.10	14.48	2.0	5.30	10.52	19.8
3.0	4.77	7.07	10.29	14.73	2.5	5.49	10.87	
3.5	4.87	7.21	10.48	15.00	3.0	5.69	11.23	21.1
4.0	4.97	7.35	10.67	15.27	3.5	5.89	11.61	
4.5	5.07	7.50	10.87	15.54	4.0	6.10	11.99	
5.0	5.17	7.64	11.07	15.81	4.5	6.32	12.38	
5.5	5.27	7.79	11.28	16.08	5.0	6.54	12.79	
6.0	5.38	7.93	11.48	16.36	5.5	6.77	13.13	
6.5	5.49	8.09	11.69	16.65	6.0	7.02	13.63	
7.0	5.60	8.24	11.90	16.95	6.5	7.26	14.08	
7.5	5.71	8.40	12.12		7.0	7.52	14.53	
8.0	5.82	8.55	12.34	17.53	7.5	7.79	15.00	
8.5	5.94	8.71	12.56		8.0	8.05	15.49	
9.0	6.05	8.88	12.79	18.16	8.5	8.33	15.97	
9.5	6.17	9.05	13.02		9.0	8.62	16.47	
					9.5	8.91		

#### Appendix 11.2.9 Weighting Factor $\Delta/\gamma$ and Temperature

(Ministry of Agriculture, Fisheries and Food (1967) *Potential Transpiration*.  
Reproduced by permission of the Controller, Her Majesty's Stationery  
Office, © Crown copyright.)

°F	30	40	50	60	°C	0	10	20
0	0.66	0.91	1.26	1.75	0	0.69	1.26	2.23
0.5	0.66	0.92	1.28	1.77	0.5	0.71	1.30	2.28
1.0	0.67	0.94	1.31	1.80	1.0	0.73	1.34	2.35
1.5	0.68	0.96	1.33	1.83	1.5	0.76	1.38	2.41
2.0	0.69	0.97	1.35	1.86	2.0	0.78	1.42	2.48
2.5	0.70	0.99	1.37	1.88	2.5	0.80	1.47	
3.0	0.71	1.01	1.40	1.91	3.0	0.83	1.51	
3.5	0.72	1.02	1.42	1.94	3.5	0.85	1.56	
4.0	0.74	1.04	1.44	1.97	4.0	0.88	1.60	
4.5	0.75	1.06	1.47	2.00	4.5	0.91	1.65	
5.0	0.76	1.07	1.49	2.03	5.0	0.94	1.69	
5.5	0.77	1.09	1.52	2.06	5.5	0.97	1.74	
6.0	0.79	1.11	1.54	2.10	6.0	1.00	1.79	
6.5	0.80	1.13	1.57	2.13	6.5	1.03	1.84	
7.0	0.82	1.15	1.59	2.16	7.0	1.06	1.89	
7.5	0.83	1.17	1.62	2.20	7.5	1.09	1.94	
8.0	0.84	1.19	1.64	2.23	8.0	1.13	1.99	
8.5	0.86	1.20	1.67	2.27	8.5	1.16	2.04	
9.0	0.87	1.22	1.69	2.32	9.0	1.19	2.11	
9.5	0.89	1.24	1.72		9.5	1.23	2.17	