



LUND UNIVERSITY

En jämförelse mellan uppmätt inre relativ fuktighet, RF, i betong och RF beräknad enligt datorprogrammet "TORK"

Persson, Bertil

1996

[Link to publication](#)

Citation for published version (APA):

Persson, B. (1996). *En jämförelse mellan uppmätt inre relativ fuktighet, RF, i betong och RF beräknad enligt datorprogrammet "TORK"*. (Rapport TVBM (Intern 7000-rapport); Vol. 7107). Avd Byggnadsmaterial, Lunds tekniska högskola.

Total number of authors:

1

General rights

Unless other specific re-use rights are stated the following general rights apply:

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

Read more about Creative commons licenses: <https://creativecommons.org/licenses/>

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

LUND UNIVERSITY

PO Box 117
221 00 Lund
+46 46-222 00 00



**En jämförelse mellan uppmätt inre relativ fuktighet, RF, i betong
och RF beräknad enligt datorprogrammet "TORK"**

Bertil Persson

EN JÄMFÖRELSE MELLAN UPPMÄTT INRE RELATIV FUKTIGHET, RF, I BETONG OCH RF BERÄKNAD ENLIGT DATORPROGRAMMET "TORK"

I rapporten genomförs en utvärdering av beräkningsprogrammet TORK [1] vad gäller RF och torktid. För detta ändamål jämfördes RF beräknad enligt TORK med ett stort antal i verkligheten uppmätta RF-värden. För ordningens skull medtogs även LATHUND [2] i utvärderingen.

1. Bakgrund och mål

Efter drygt 3 års erfarenheter av datorprogrammet TORK [1] fanns det anledning att genomföra en utvärdering. (Föreliggande program TORK beräknar inre relativa fuktigheten, RF, i betong.) Erfarenheter från industrin tydde nämligen på att TORK beräkningsmässigt gav någon eller ett par procent högre RF än vad LATHUND gav [3]. Denna förmenta skiljaktighet mellan, å ena sidan, RF beräknad enligt TORK, och, å andra sidan, RF beräknad enligt LATHUND skulle kunna innebära att byggaren valde en oekonomisk betong, dvs. att ett för lågt vattencementtal valdes i det fall att TORK användes i samband med dimensioneringen av betongen.

Syftet med detta arbete var att ge ett samband mellan RF beräknad enligt TORK och i verkligheten uppmätt RF samt att jämföra, å ena sidan, torktider beräknade med TORK och LATHUND med, å andra sidan, i verkligheten konstaterade torktider.

2. Utvärderingsmetod

Utvärderingen av TORK och LATHUND utgick från uppmätta värden [4-11]:

1. Torktider till en viss RF vid s.k. normenligt mätdjup i betongen.
2. Av LTH Byggnadsmaterial uppmätta RF-värden vid s.k. normenligt mätdjup i betongen.

Med ledning av ovan uppmätta värden beräknades följande storheter:

- a. Torktid beräknad enligt LATHUND [2] vid i verkligheten uppmätt RF.
- b. Torktid beräknad enligt TORK [1] vid i verkligheten uppmätt RF.
- c. Enligt TORK [1] beräknad RF vid i verkligheten uppmätt torktid.

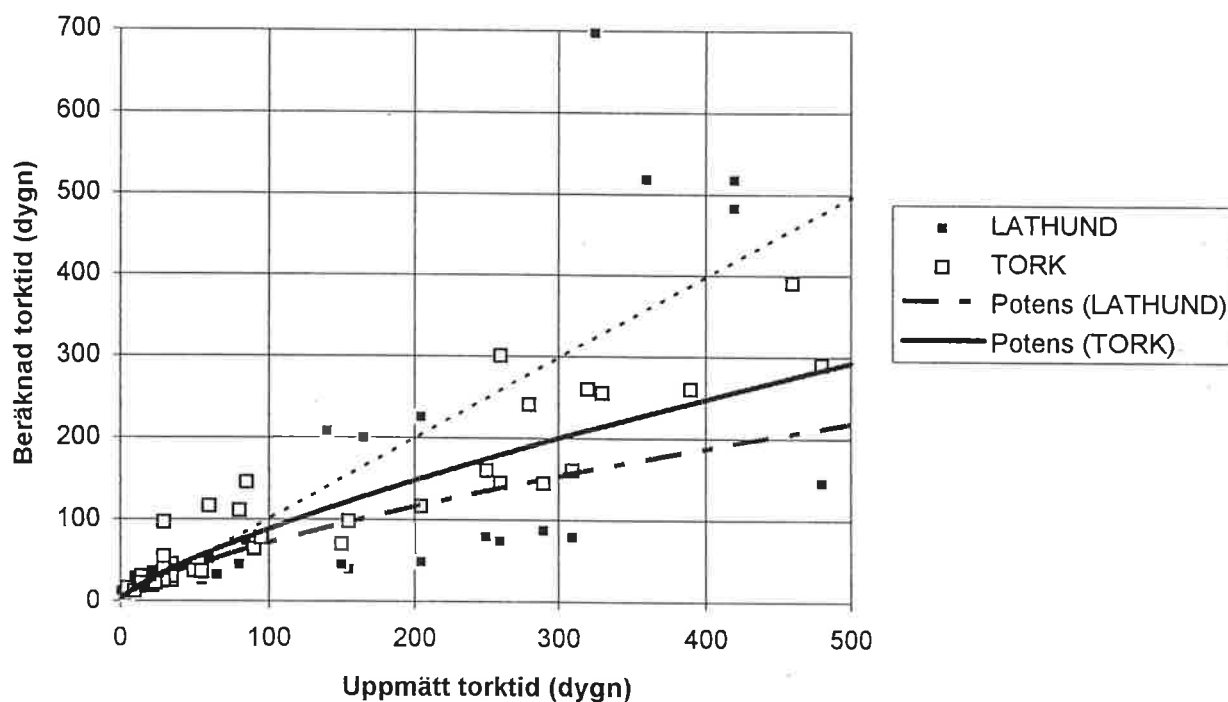
3. Felkällor

En stor felkälla i utvärderingen var noggrannheten i fuktmätningen. Av denna anledning medtogs endast fuktmätningar utförda vid LTH Byggnadsmaterial. Lund, enligt följande principer:

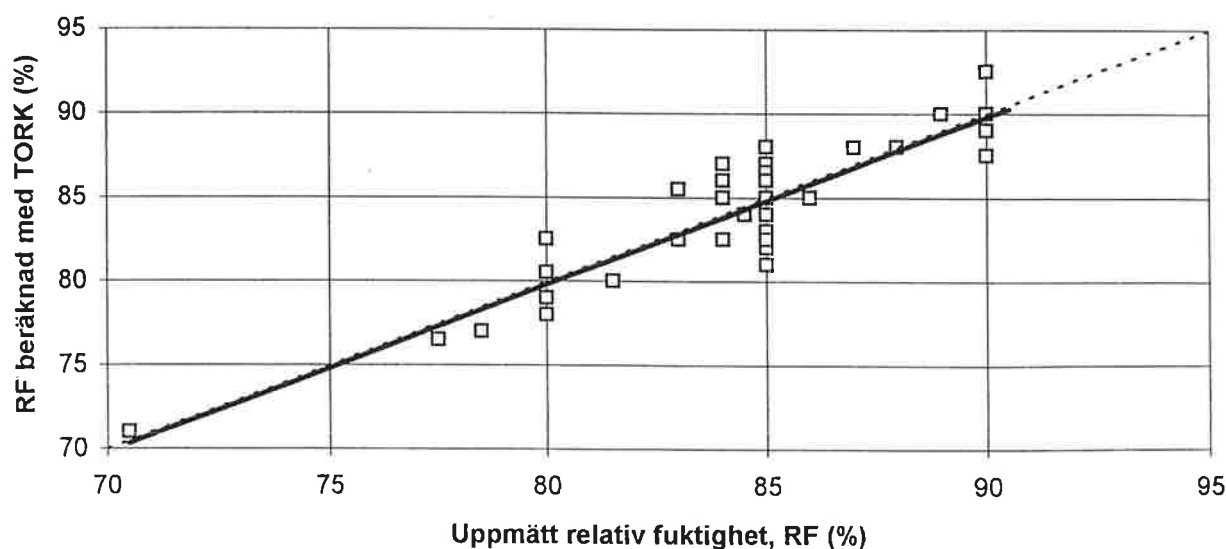
- a. Instrumenten som användes vid utvärderingen kalibrerades enligt ASTM-104-85 [12] inom 1 månad från mättillfället.
- b. Uttagna prover tempererades under minst 20 timmar före det att fuktmätningen påbörjades.
- c. Fuktmätningen utfördes under minst 16 timmar.
- d. Fuktmätningen enligt [4] utfördes på 38% av tjockleken mot föreskrivna 40%. Av denna anledning ökades RF-värdet med 0.5% i syfte att motsvara ett mätdjup av 40% av tjockleken.
- e. Å andra sidan utfördes fuktmätningen enligt [9] på 24% av tjockleken mot föreskrivna 20% (gäller dock ej alternativet samverkansplåt i [9]). Av denna anledning beräknades uttorkningstiden för ett med 1% ökat RF-värde i syfte att motsvara uttorkningstiden på ett mätdjup av 20% av tjockleken. Korrektionen framgick av [13] och innebar att uttorkningstiden enligt [9] blev något förkortad eftersom t.ex. 91% RF nås före 90% RF i betongen.

4. Resultat

Figur 1 visar beräknad torktid som funktion av i verkligheten uppmätt torktid, dels med LATHUND (mörka kvadrater), dels med TORK (ljusa kvadrater). Punktstreckad linje betecknar en regressionslinje av de enligt LATHUND beräknade torktiderna; heldragen linje betecknar en regression av de enligt TORK beräknade torktiderna. Figur 2 visar enligt TORK beräknad RF som funktion av uppmätt RF vid aktuell torktid. I APPENDIX ges beräkningsdetaljer.



Figur 1 - Beräknad torktid som funktion av uppmätt. Beteckningar: mörka kvadrater = med LATHUND beräknad torktid; ljusa kvadrater: med TORK beräknad torktid. Regressionslinjer.



Figur 2 - Enligt TORK beräknad RF som funktion av uppmätt RF vid aktuell torktid.

5. Noggrannhet

Noggrannheten och precisionen i uppmätt RF får bedömas till $\pm 2\%$.

6. Analys och diskussion

Spridningen i resultaten var stor vilket sannolikt beror på noggrannheten i mätningarna. En stor del av uttorkningen hos betongerna med lägre vattencementtal, vct, berodde på självuttorkningen hos betongen. Självuttorkningshastigheten hos betongen var i sin tur i det närmaste logaritmiskt beroende av åldern hos betongen [14]:

$$\delta(\text{RF})/\delta t = 3.8/t \quad (1)$$

där

$\delta(\text{RF})/\delta t$ betecknar självuttorkningshastigheten hos högpresterande betong med $\text{vct} < 0.38$ (%/dygn)
t betecknar ålder (dygn)

Exempelvis vid 1 månads ålder självuttorkade betongen med ca $30 \cdot 3.8/30 \approx 4\%$ per månad medan självuttorkningen vid 300 dygns ålder endast uppgick till en tiondel ca 0.4% per månad. Mätnoggrannheten ($\pm 2\%$) motsvarade således ca $\pm 1/2$ månad vid 30 dygns ålder, men följaktligen så mycket som ca ± 5 månader vid 300 dygns ålder. Så länge som mätnoggrannheten vad gäller RF i betong är så pass dålig som den är, är det således föga meningsfullt att söka förutsäga torktiderna för betongen mera precist än vad LATHUND eller TORK gör. Systematiska avvikelser mellan uppmätt resp. beräknad uttorkningstid bör dock ej förekomma.

Efter en regressionsanalys av värden i figur 1 beräknade enligt LATHUND erhöles (dygn):

$$t_L = 3 \cdot (t_U)^{0.69} \quad (2)$$

där

t_L betecknar enligt LATHUND beräknad torktid (dygn).
 t_U betecknar i verkligheten uppmätt RF (dygn).

Alternativt uttryck:

$$t_U = 0.34 \cdot (t_L)^{1.45} \quad (3)$$

Enligt LATHUND beräknade torktider var kortare än de verkliga då torktid översteg ca 35 dygn. Vid exempelvis 100 dygns torktid underskattades torktiden med ca 30 dygn.

Enligt TORK erhöles följande samband ur figur 1 (dygn):

$$t_T = 2.9 \cdot (t_U)^{0.75} \quad (4)$$

där

t_T betecknar enligt TORK beräknad torktid (dygn).

t_U betecknar i verkligheten uppmätt RF (dygn).

Alternativt uttryckssätt:

$$t_U = 0.35 \cdot (t_T)^{1.34}$$

Även den enligt TORK beräknade torktiden var för liten (i det fall då torktiden översteg ca 60 dygn), vilket torde bero på en skillnad mellan betongtemperatur i verkligheten och temperatur då underlaget till TORK framtogs. Vid 100 dygns ålder beräknades 88 dygn i.st.f. 100 dygn.

Vid aktuell torktid och aktuell uppmätt RF var det möjligt att med hjälp av figur 2 ovan, ta fram enligt TORK beräknad RF som funktion av uppmätt RF (%):

$$RF_T = 0.997 \cdot RF_U \quad (5)$$

där

RF_T = betecknar enligt TORK beräknat RF (%)
 RF_U = betecknar uppmätt RF (%)

Beräknad RF och uppmätt RF överensstämde mycket väl. Enligt TORK beräknade RF-värden uppvisade dock stor spridning; t.ex. vid RF= 85% varierade beräknat RF mellan 81 och 88%.

7. Diskussion

De i verkligheten uppmätta RF-värdena grundades till stor del på provning av uthuggen betong resp. enstaka mätningar i ingjutna mätrör i betongen. Förmodligen hade den tidiga härdningen av betongen en avgörande betydelse för de uppmätta uttorkningsförhållandena. Det var således ytterst väsentligt att välja en relevant härdningsmetod vid ung ålder i det experimentella arbetet: vattenlagring, försegling eller lufthärdning. Vattenlagring anses motsvara den tidiga härdningen av betongen i verkligheten under mest ogynnsamma förhållanden t.ex. utomhus vintertid. Försegling simulerar å andra sidan en byggnad under tak men där uttorkningen ej ännu kommit igång t.ex. vid låg yttertemperatur och/eller hög omgivningsfuktighet. Lufthärdning, slutligen, kan ske på olika sätt (varierande temperatur och omgivningsfuktighet).

Då det experimentella underlaget till TORK togs fram härdades den sedermera exponerade betongytan inledningsvis mot stålplåt under 2 dygn (försegling). Tredje dygnet efter gjutning lufthärdades ytan varefter exponeringen av ytan påbörjades efter 3 dygns ålder (endera vattenlagring, försegling eller lufthärdning). De flata delarna av de stora provkropparna (kvarnhjul om 250 kg vardera) förseglades med ett tjockt lager av epoxi. Exponeringen utfördes således av kvarnhjulets cirkulära yta. Under första dygnet efter gjutning steg betongtemperaturen till ca 30°C varefter betongen härdades vid 20°C.

Den goda ythärdningen av betongen gav, å ena sidan, ett lågt motståndstal mot vatteninträngning, men, å andra sidan, även låg diffusivitet hos betongen i samband med uttorkning d.v.s. längre uttorkningstider än om betong t.ex. hade härdats under en löst liggande plastfolie.

Om slutligen betongen härdades tidigt med vatten, vattenlagrades, blev förmodligen ythärdningen fullgod d.v.s. motståndstalet mot vatteninträngning mycket högt och diffusiviteten mycket låg hos betongen och därmed uttorkningstiden längre än annars.

En stor del av de betonger som använts i utvärderingen ovan vattenhärdades tidigt. De representerade således väl "värsta belastningsfall" vad gällde risken för fuktskador. I likhet med statisk dimensionering var, även vad gällde fukt, värsta belastningsfallet dimensionerande.

8. Slutsatser

Totalt jämfördes, å ena sidan, 60 st i verkligheten uppmätta värden på inre relativa fuktigheten i betong, RF, samt torktider för betongen till en viss RF med, å andra sidan, enligt datorprogrammet TORK [1] och bladet LATHUND [2] beräknade värden. Följande slutsatser drogs av utvärderingen:

1. Enligt TORK beräknad inre relativ fuktighet, RF, överensstämde mycket väl med i verkligheten uppmätt RF. De beräknade värdena uppvisade dock stor spridning; t.ex. vid RF= 85% varierade beräknat RF mellan 81 och 88%. Spridningen berodde dels på mätnoggrannheten, $\pm 2\%$, dels på skillnad i härdningstemperatur mellan laboratorium och verkliga förhållanden.
2. Den enligt TORK beräknade torktiden till en viss RF var något för liten i det fall då torktiden översteg ca 60 dygn. Detta berodde troligen på en skillnad mellan betongtemperaturen i verkligheten och temperaturen i betongen då underlaget till TORK togs fram. Vid 100 dygns ålder beräknades torktiden till 88 dygn med TORK vilket skall jämföras med den verkliga torktiden: 100 dygn.
3. Enligt LATHUND beräknade torktider var kortare än de verkliga då torktid översteg ca 35 dygn. Vid t.ex. 100 dygns torktid underskattades torktiden enligt LATHUND med ca 30 dygn.

Referenser

1. Persson, B. *Beräkningsprogram TORK för val av vbt i byggfuktfri betong*. Rapport TVBM-7050. LTH Byggnadsmaterial. Lund. (reviderad 1996.)
2. Författare okänd. *LATHUND för betongtorkning*. SBUF informerar nr 95:14. Stockholm. (1995.)
3. Gerlam, M. *Seminarium beträffande fukt ock emissioner*. Personlig information. Sabema Material AB. Kålleröd. (1996.)
4. Nilsson, L.O. *Hygroscopic moisture in concrete - drying, measurements & related material properties*. Rapport TVBM-1003. LTH Byggnadsmaterial. Lund. (1977.)
5. Linné, B.; Utgennant, P. *Uttorkning av betong - en fältstudie*. Rapport TVBM-5029. LTH Byggnadsmaterial. Lund. (1995.)
6. Persson, B. *Yt nära fukt i byggfuktfri betong*. Rapport TVBM-7049. LTH Byggnadsmaterial. Lund. (1993.)
7. Persson, B. *Uttorkning hos snabbtorkande betong i Billeberga och Svalöv*. Rapport U92.02. LTH Byggnadsmaterial. Lund. (1992.)
8. Persson, B. *Provtagning och mätning av fukt i betong från Laröd, Helsingborg*. Rapport U92.04. LTH Byggnadsmaterial. Lund. (1992.)
9. Persson, B. *Långtidsuttorkning av filigranbjälklag*. Rapport U94.03. LTH Byggnadsmaterial. Lund. (1994.)
10. Persson, B. *Högpresterande betong på samverkansplåt -uttorkningsförhållanden*. Rapport U94.08. LTH Byggnadsmaterial. Lund. (1994.)
11. Persson, B. *Fukt i snabbtorkande betong*. Rapport U96.04. LTH Byggnadsmaterial. Lund. (1996.)
12. ASTM E 104-85. *Standard Practice for Maintaining Constant Relative Humidity by Means of Aqueous Solutions*. The American Society for Testing and Materials. Philadelphia. 1985. Sid. 33-34, 637.
13. Aevärsson, M.; Rahim, A. *Högpresterande pågjutningsbetong - uttorkningstider jämfört med normal betong*. Rapport 5025. LTH Byggnadsmaterial. Lund. (1993. Sid. 27-35)
14. Persson, B. *Grundkrypning hos högpresterande betong*. HÖGPRESTERANDE BETONG. Rapport M6:14. LTH Byggnadsmaterial. Lund. (1995. Sid. 43)

Uppmätt torktid (dygn)	Torktid (dygn) enligt LATHUND	Torktid (dygn) enligt TORK	Uppmätt RF (%)	RF (%) enligt TORK	Beräkning av torktid (dygn) enligt L A T H U N D	Vct	APPENDIX 1 Referenser
5	6		90.5		$17 \cdot 0.87 \cdot 1 \cdot 0.8 \cdot 0.5 = 6$	0.4	TVBM-1003 sid 142
22	37	19	84.5	84	$53 \cdot 0.87 \cdot 1 \cdot 0.8 \cdot 1 = 37$	0.4	TVBM-1003 sid 142
50		37	81.5	80	RF<85%	0.4	TVBM-1003 sid 142
90		64	78.5	77	RF<85%	0.4	TVBM-1003 sid 142
95		77	77.5	76.5	RF<85%	0.4	TVBM-1003 sid 142
260		300	70.5	71	RF<85%	0.4	TVBM-1003 sid 142
12	11	17	89	90	$26 \cdot 0.4 \cdot 2 \cdot 1 \cdot 0.8 \cdot 0.5 = 11$		TVBM-7049 sid 6
5	10	16	90	92.5	$25 \cdot 0.4 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 1 \cdot 0.5 = 10$		TVBM-7049 sid 7
15	13		87		$38 \cdot 0.40 \cdot 2 \cdot 0.7 \cdot 1 \cdot 2 \cdot 0.5 = 13$	0.4	U92.02 sid 3 (B.)
13	11		90		$20 \cdot 0.72 \cdot 2 \cdot 0.7 \cdot 1 \cdot 0.5 = 11$	0.4	U92.02 sid 2 (S.)
35		45	84	85	Vbt<0.40	0.38	U92.04 sid 6 (et. 1)
35	33	25	86	85	$48 \cdot 0.40 \cdot 2 \cdot 1.3 \cdot 1.32 \cdot 0.5 = 33$	0.41	U92.04 sid 6 (et. 2)
30	37	30	85	85	$54 \cdot 0.40 \cdot 2 \cdot 1.3 \cdot 1.32 \cdot 0.5 = 37$	0.41	U92.04 sid 6 (et. 3)
15	16		90		$32 \cdot 1.35 \cdot 1 \cdot 0.73 \cdot 1 \cdot 0.5 = 16$	0.45	U94.03 sid 7 vbt
205	48	116	85	82	$70 \cdot 1.35 \cdot 1 \cdot 0.73 \cdot 1.4 \cdot 0.5 = 48$	0.45	U94.03 sid 7 vbt
320		260	80	79	RF<85%	0.45	U94.03 sid 7 vbt
55	25	36	90	89	$25 \cdot 1.32 \cdot 1 \cdot 0.73 \cdot 1 \cdot 1 = 25$	0.42	U94.03 sid 7 vct
310	79	160	85	82	$58 \cdot 1.33 \cdot 1 \cdot 0.73 \cdot 1.4 \cdot 1 = 79$	0.42	U94.03 sid 7 vct
165	199		90		$130 \cdot 2.1 \cdot 1 \cdot 0.73 \cdot 1 \cdot 1 = 199$	0.78	U94.03 sid 7 vct
1	12		90		$25 \cdot 1.32 \cdot 1 \cdot 0.73 \cdot 1 \cdot 0.5 = 12$	0.42	U94.03 sid 8 vbt
155	39	98	85	83	$58 \cdot 1.32 \cdot 1 \cdot 0.73 \cdot 1.4 \cdot 0.5 = 39$	0.42	U94.03 sid 8 vbt
280		240	80	79	RF<85%	0.42	U94.03 sid 8 vbt
10	31		90		$23 \cdot 1.32 \cdot 1 \cdot 0.73 \cdot 1.4 \cdot 1 = 31$	0.41	U94.03 sid 8 vct
85	73	145	85	87	$54 \cdot 1.32 \cdot 1 \cdot 0.73 \cdot 1.4 \cdot 1 = 73$	0.41	U94.03 sid 8 vct
255			80	82.5	RF<85%	0.41	U94.03 sid 8 vct
140	207		90		$135 \cdot 2.1 \cdot 1 \cdot 0.73 \cdot 1 \cdot 1 = 207$	0.8	U94.03 sid 8 vct
420	482		85		$225 \cdot 2.1 \cdot 1 \cdot 0.73 \cdot 1.4 \cdot 1 = 482$	0.8	U94.03 sid 8 vct
15	14		90		$30 \cdot 1.32 \cdot 1 \cdot 0.73 \cdot 1 \cdot 0.5 = 14$	0.44	U94.03 sid 9 vbt
80	45	110	85	86.5	$66 \cdot 1.32 \cdot 1 \cdot 0.73 \cdot 1.4 \cdot 0.5 = 45$	0.44	U94.03 sid 9 vbt
330		255	80	78	RF<85%	0.44	U94.03 sid 9 vbt
35	25	36	90	90	$25 \cdot 1.32 \cdot 1 \cdot 0.73 \cdot 1 \cdot 0.1 = 25$	0.42	U94.03 sid 9 vct
250	79	160	85	84	$58 \cdot 1.32 \cdot 1 \cdot 0.73 \cdot 1.4 \cdot 1 = 79$	0.42	U94.03 sid 9 vct
500			80		RF<85%	0.42	U94.03 sid 9 vct
205	225		90		$140 \cdot 2.2 \cdot 1 \cdot 0.73 \cdot 1 \cdot 1 = 225$	0.83	U94.03 sid 9 vct
360	517		85		$230 \cdot 2.2 \cdot 1 \cdot 0.73 \cdot 1.4 \cdot 1 = 517$	0.83	U94.03 sid 9 vct
15	15		90		$32 \cdot 1.32 \cdot 1 \cdot 0.73 \cdot 1 \cdot 0.5 = 15$	0.45	U94.03 sid 10 vbt
60	48	116	85	88	$70 \cdot 1.32 \cdot 1 \cdot 0.73 \cdot 1.4 \cdot 0.5 = 48$	0.45	U94.03 sid 10 vbt
390		260	80	78	RF<85%	0.45	U94.03 sid 10 vbt
35	22	30	90	90	$23 \cdot 1.32 \cdot 1 \cdot 0.73 \cdot 1 \cdot 1 = 22$	0.41	U94.03 sid 10 vct
260	73	145	85	82.5	$54 \cdot 1.32 \cdot 1 \cdot 0.73 \cdot 1.4 \cdot 1 = 73$	0.41	U94.03 sid 10 vct
390			80	80.5	RF<85%	0.41	U94.03 sid 10 vct
205	225				$140 \cdot 2.2 \cdot 1 \cdot 0.73 \cdot 1 \cdot 1 = 225$	0.84	U94.03 sid 10 vct
420	517				$230 \cdot 2.2 \cdot 1 \cdot 0.73 \cdot 1.4 \cdot 1 = 517$	0.84	U94.03 sid 10 vct
15	29	30	90		$32 \cdot 1.22 \cdot 2 \cdot 0.73 \cdot 1 \cdot 0.5 = 29$	0.45	U94.03 sid 11 vbt
290	87	144	85	81	$70 \cdot 1.22 \cdot 2 \cdot 0.73 \cdot 1.4 \cdot 0.5 = 87$	0.45	U94.03 sid 11 vbt
460		390	80		RF<85%	0.45	U94.03 sid 11 vbt
150	45	70	90	87.5	$25 \cdot 1.22 \cdot 2 \cdot 0.73 \cdot 1 \cdot 1 = 45$	0.42	U94.03 sid 11 vct
480	145	290	85		$58 \cdot 1.22 \cdot 2 \cdot 0.73 \cdot 1.4 \cdot 1 = 145$	0.42	U94.03 sid 11 vct
325	697		90		$130 \cdot 2.1 \cdot 3.5 \cdot 0.73 \cdot 1 \cdot 1 = 697$	0.78	U94.03 sid 11 vct
30	47	30	88	88	$32 \cdot 1.22 \cdot 2 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 2 \cdot 0.5 = 47$	0.4	U94.08 sid 3
30		96	84	87	Vct<0.4	0.36	U94.08 sid 3
30		25	84	82.5	Vct<0.4	0.37	U96.04 sid 3
30	21	41	85	86	$74 \cdot 0.4 \cdot 2 \cdot 0.95 \cdot 0.75 \cdot 0.5 = 21$	0.46	U96.04 sid 3
30		54	84	86	RF<85%	0.46	U96.04 sid 3
10		12	87	88	Vct<0.4	0.37	U96.04 sid 8
15		22	83	85.5	Vct<0.4	0.37	U96.04 sid 8
24		22	83	82.5	Vct<0.4	0.37	U96.04 sid 8
56	32		90		$92 \cdot 0.4 \cdot 1 \cdot 0.87 \cdot 1 \cdot 1 = 32$	0.69	U96.04 sid 8
60	51		88		$125 \cdot 0.4 \cdot 1 \cdot 0.87 \cdot 1 \cdot 16 \cdot 1 = 51$	0.69	U96.04 sid 8
65	32		90		$92 \cdot 0.4 \cdot 1 \cdot 0.87 \cdot 1 \cdot 1 = 32$	0.69	U96.04 sid 8

