



LUND UNIVERSITY

Byggfukt i betongplatta på mark : torknings- och mätmetoder. Del 1, Byggtorkning

Nilsson, Lars-Olof; Ericson, Urban; Rising, Claes

1979

[Link to publication](#)

Citation for published version (APA):

Nilsson, L.-O., Ericson, U., & Rising, C. (1979). *Byggfukt i betongplatta på mark : torknings- och mätmetoder. Del 1, Byggtorkning.* (Rapport TVBM; Vol. 3007). Avd Byggnadsmaterial, Lunds tekniska högskola.

Total number of authors:

3

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

AVDELNINGEN FÖR BYGGNADSMATERIALLÄRA
LUNDS TEKNISKA HÖGSKOLA

BYGGTORKNING

DEL 1 AV

BYGGFUKT I BETONGPLATTA PÅ MARK
TORKNINGS- OCH MÄTMETODER

LARS-OLOF NILSSON
URBAN ERICSON
CLAES RISING

RAPPORT TVBM-3007
LUND 1979

CODEN: LUTVDG/(TVBM-3007)/1-60/1979

BYGGTORKNING

del 1 av

Byggfukt i betongplatta på mark
Torknings- och mätmetoder

Lars-Olof Nilsson

Urban Ericsson

Claes Rising

3:e upplagan, oktober 1983

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 750595-1
från Statens Råd för Byggnadsforskning till avdelningen
för Byggnadsmateriallära, LTH, Lund samt AB Skånska
Cementgjuteriet, Stockholm.

ISSN-0349-4985

I N N E H Å L L S F Ö R T E C K N I N G		S I D
BETECKNINGAR		4
SAMMANFATTNING		5
1	PROBLEMSTÄLLNING	8
2	PRINCIPER & LITTERATURINVENTERING	10
2.1	Allmänt	10
2.2	Uttorkningshastighet för byggnadsmaterial	11
2.3	Torkmetoder	12
2.4	Praktiska råd	16
3	KVANTITATIV BESKRIVNING AV BYGGTORKNING	17
3.1	Avdunstning från materialytor	17
3.2	Ångbildningsvärme	18
3.3	Värmetransmission	21
3.4	Ventilation	22
3.5	Avfuktning	27
3.6	Värmetillskott	32
3.7	Värmebalans	34
3.8	Fuktbalans	36
3.9	Energiförlust/torkeffekt	39
4	VAL AV METOD	41
4.1	Uttorkningssteg 1	41
4.2	Uttorkningssteg 2	44
5	PRAKTISK TEST AV TORKUTRUSTNING	48
5.1	Inledning	48
5.2	Försöksprogram	48
5.3	Beskrivning av försök samt försöksresultat	49
5.4	Sammanfattning	50

6	EKONOMI OCH ALTERNATIV	52
6.1	Byggtorkning med bl a elektriska aerotemperar	53
6.2	Byggtorkning med oljeeldade aggregat	55
6.3	Byggtorkning med enbart ventilation och permanent värmesystem	56
6.4	Alternativa metoder för uttorkning (Avfuktare)	56
7	REFERENSER	60

BETECKNINGAR

β	fuktövergångstal för vattenånga	(m/s)
c	ånghalt	(kg/m ³)
C_p	specifikt värme	(J/kg ⁰ C)
ϕ , RF	luftens relativa fuktighet, por-fuktighet	(-)
g	uttorkningshastighet	(kg/m ² ·s)
γ	densitet	(kg/m ³)
k	värmeegenomgångskoefficient (k-värde)	(W/m ² °C)
K	torkkapacitet	(l/h)
K_{VENT}	torkeffekt av ventilation	(l/h)
K_{AVF}	torkeffekt hos avfuktare	(l/h)
L	luftflöde	(m ³ /h)
n	ventilationsgrad, luftomsättningar per timme	(1/h)
Q	värmeeffekt, energi per tidsenhet	(W)
Q_{avd}	ångbildningsvärmeeffekt	(W)
Q_{VENT}	värmeeffekt för uppvärmning av ventilationsluft	(W)
Q_{TRANS}	värmeeffekt för transmissionsförluster	(W)
RF, ϕ	relativ fuktighet	(-)
θ	temperatur	(°C)
V	byggnadsvolym	(m ³)
w	fukthalt	(kg/m ³)

SAMMANFATTNING

I samband med energikrisen introducerades nya metoder för byggtorkning på den svenska marknaden. De nya metoderna innebär att ventilationen, och därmed energiförlusterna, minskas radikalt genom att den fuktiga luften torkas, avfuktas, och inte som tidigare bytes mot kall uteluft, dvs ventileras bort.

Nya och gamla byggtorkningsmetoder har studerats teoretiskt, laboratoriemässigt och i fältförsök för att kvantifiera torkeffekt och energiåtgång samt ge anvisningar för deras användning på bästa sätt.

Uttorkning av byggfukt sker i två vitt skilda steg. Under steg 1 är de fuktiga materialen så fuktiga att fukttransporten fram till ytan går snabbare än avdunstningen. Erforderlig torktid bestäms av hur mycket vatten som måste torkas bort för att få yttorr samt kapaciteten hos vald byggtorkningsmetod; ju större kapacitet desto snabbare torkning.

Under steg 2 går fukttransporten inuti materialen fram till ytan långsammare än avdunstningen och fukttransporten är därför en flaskhals. Erforderlig torktid bestäms av konstruktionens utformning och ingående material och kan därför bara förkortas genom att de fuktiga materialen värms upp. En byggtorkningsmetod med för stor kapacitet ger inte en snabbare uttorkning. Under senare delen av steg 2 erfordras inte större torkkapacitet än att det permanenta uppvärmningssystemet och den ofrivilliga ventilationen är tillräcklig.

För betongkonstruktioner finns inte något steg 1, såvida det inte står fritt vatten på ytan, varför bara torkning under steg 2 är av intresse.

De två byggtorkningsmetoder man har att välja mellan under steg 1 och första delen av steg 2 är dels ventilation + värme och dels avfuktning, vilka skiljer sig väsent-

ligt både vad gäller uppnående av en viss torkeffekt och energiförluster.

Byggtorkning med ventilation + värme har en stor nackdel, nämligen att ventilationen måste styras för att få tillräcklig torkning eller små energiförluster. Blir ventilationen för liten fås för liten torkning och blir den för stor blir energiförlusterna onödigt stora. Eftersom ventilationen i praktiken är svår att styra med någon större noggrannhet föreligger det alltid stor risk för antingen för dålig uttorkning eller för stora energiförluster. Försök att styra ventilationen kräver en viss arbetsinsats, som snabbt ökar kostnaderna.

Byggtorkning med avfuktare minskar avsevärt risken att få för liten uttorkning då den inte påverkas negativt i någon större grad av ventilationens storlek. En mycket låg ventilation, dvs tätning av så många luftläckage som möjligt, minskar energiförlusterna till ett minimum. En stor ventilation ger, förutom större torkeffekt, något större energiförluster, dock avsevärt mindre än byggtorkning utan avfuktare. Energiförlusterna kan teoretiskt med avfuktning så gott som alltid minskas till mellan en tredjedel och en fjärdedel jämfört med värme + ventilation. Kan man minska den ofrivilliga ventilationen ordentligt blir energiförlusterna ytterligare mycket mindre.

Att byggtorka med avfuktare kan ge stora energibesparingar, men med dagens energipris blir emellertid de direkta kostnaderna större än vid torkning med ventilation + värme, om denna görs på rätt sätt, på grund av den högre hyreskostnaden, som för närvarande inte uppvägs av energibesparingen. De indirekta kostnaderna, för t ex tillsyn av ventilation, bör emellertid kunna bli mindre vid användning av avfuktare men detta beror helt på hur man sköter byggtorkningen på arbetsplatsen.

Sammanfattningsvis ges en jämförelse mellan de båda byggtorkningsmetoderna i nedanstående tabell:

Fördelar med ventilation + värme	Fördelar med avfuktare
Mycket låg hyreskostnad Enklare "installation"	Mycket låg energikostnad Stor torkeffekt även vid liten ventilation Oberoende av väderleksförhållanden Kräver mindre tillsyn för att arbeta optimalt

1. PROBLEMSTÄLLNING

I samband med grundläggning uppstår fuktproblem. De flesta fuktproblemen kan undvikas om "rätt" konstruktion och "rätt" utförande åstadkommes. Med "rätt" konstruktion menas här att alla normer och rekommendationer följs i sin helhet.

Den undersökning som presenteras nedan betraktar huvudsakligen betongplatta direkt på mark. Undersökningen är uppdelad i tre delar. Den första delen behandlar uttorkning av byggfukt samt vilken utrustning som är lämplig att använda. Den andra delen behandlar fuktmätningstekniken och utveckling av denna. Den tredje delen redovisar en del resultat av fuktmätningar som utförts på 26 hus på olika platser i landet. I tredje delen sammanfattas också resultatet av ett antal enkäter om skador vid golv på mark.

Viss fuktmängd ger som bekant upphov till att klistrade mattor släpper, även röta, mögel och missfärgning samt dålig lukt kan uppstå.

Skador av denna typ brukar vara dyrbara att åtgärda. De fuktskador som framförallt behandlas i denna rapport är de som uppstår på bottenbjälklaget. (Betongplatta på mark). I en särskild inventering bearbetas resultaten av 3 enkäter och övriga iakttagelser vad gäller fuktskador. Målsättningen med undersökningen är att begränsa de fuktskador vid platta på mark som uppstår på grund av byggfukt och markfukt. Tack vare det relativt stora datamaterialet från både praktiska och laboriemässiga prov kan en del grundläggande samband ytterligare belysas.

I denna undersökning ingår bl a studie av metoder för uttorkning på byggplatsen. Målsättningen är att finna den mest ekonomiska lösningen på detta problem. Orsaken till att denna utvärdering behöver behandlas i ett forskningsprojekt är att nya maskiner för uttorkning presenterats på den svenska marknaden.

Ett antal frågor (hypoteser) har ställts i början av projektet.

1. Kan praktisk mätning av fukt ute på fältet utföras noggrannare än gängse mätningar?
2. Är mätmetoden under 1 i så fall enkel och kan mätningen utföras av arbetsplatsens ordinarie personal ?
3. Är förberedelserna för mätning omfattande eller sådana att rutinmässiga mätningar kan utföras på samtliga betongplattor?
4. Om mätningarna är riktigt utförda samt mätvärden erhållits kan då sådana slutsatser dras att det går att undvika fukt- och /eller mögelskador?
5. Kan uttorkning av betongplattor ske snabbare än vid gängse uttorkning?
6. Ger en snabbare uttorkning enl 5 en lägre kostnad än den gängse för begreppet uttorkning?

I princip svarar denna utredning på ovanstående frågor. På grund av att den nya mätmetoden prövats på många olika betongplattor och givit ett stort material av värden kommer utredningen också att innehålla diagram som visar de faktiska förhållandena vad gäller fukt och temperatur i betongplattor direkt på mark.

I denna rapportdel 1 redovisas resultat och undersökningar från byggtorkning. Problemen kring fuktmätning presenteras i rapportdel 2.

2. PRINCIPER OCH LITTERATURINVENTERING

I litteraturen är byggtorkning mycket sparsamt behandlat. Då det gäller uttorkningsförloppet för olika byggnads-material finns det en mycket god redovisning i mängder av skrifter, medan metoderna att byggtorka är mycket litet beskrivna.

Med hjälp av en litteraturundersökning vid Institutet för bygdokumentation har dock några referenser erhållits och tillsammans med ytterligare några kan man ge en bild av var kunskapsnivån ligger då det gäller byggtorkningsprinciper och -metoder.

2.1. Allmänt

Många material i en byggnad innehåller stora mängder byggfukt, framförallt betong, tegel, bruk och lättbetong. En del fukt finns i materialen redan efter tillverkning och vid lagring på byggnadsplatsen tillföres ofta ytterligare fukt. Under själva byggnadstiden fås också ett fukttillskott av regn, is och snö samt vid fukthärdning av t ex betong. Då byggnaden är i det närmaste färdig finns därför stora mängder byggfukt som måste torkas bort framförallt för att målningsarbetena skall kunna utföras och täta golv- och väggbeklädnader skall kunna appliceras utan risk för skador.

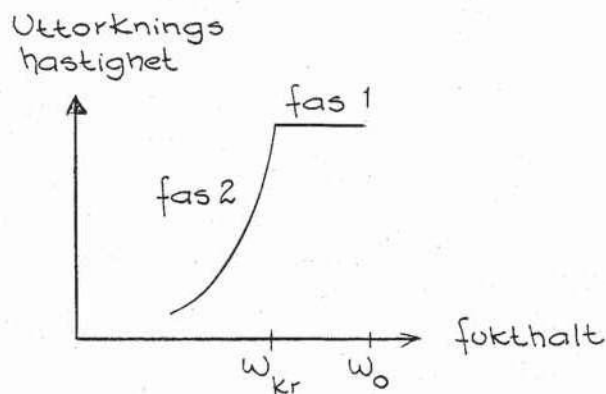
I nedanstående tabell ges en sammanställning av mängden byggfukt i några material och konstruktioner enligt Adamson et al (1970) och Nilsson (1977).

Material	Fukthalt (l/m^3)			byggfukt att ut- torka
	vid in- byggnad	bindes kemiskt	jämviktsfukt- halt vid ~50 % RF	
Betong K150	180	40	25	115
K250	180	60	30	90
K400	180	70	40	70
Lättbetong	100-200	-	20	80-180
Kalkbruk	300	-30	10	320
Kalkcementbruk	300	20	30	250
Tegel	10	-	10	0
Tegelmurverk	80	-	10	70
Trä	60	-	40	20

För att få så kort byggtid som möjligt gäller det att så snabbt som möjligt torka bort byggfukten; dock måste en viss försiktighet iakttas så att känsliga material inte skadas genom alltför snabb torkning med t ex krympsprickor i träbaserade material som följd.

2.2 Uttorkningshastighet för byggnadsmaterial

Enligt Krischer (1963) varierar uttorkningshastigheten, för de flesta byggnadsmaterial med fukttinnehållet principiellt enligt endanstående figur.



I början av förloppet, fas 1, bestäms uttorkningshastigheten av avdunstningen från ytan och uttorkningshastigheten är konstant

$$g = \beta(c_m - c) \approx \beta \cdot c_m (1 - \phi)$$

där β = fuktövergångstalet för vattenånga (m/s)

c_m = mättnadsånghalten (kg/m^3)

c = ånghalten hos omgivande luft (kg/m^3)

ϕ = relativ fuktighet, RF, i luften (-)

Fuktövergångstalet β ökar med ökande lufthastighet och ökande temperaturskillnader mellan luft och yta.

Fas 1 pågår så länge som fukttransportförmågan är tillräckligt stor för att hålla ytan våt så att avdunstningen sker i oförminskad takt.

Då fukthalten sjunkit till den kritiska, w_{kr} , blir fukttransporten fram till ytan för liten och uttorkningshastigheten sjunker, varvid fas 2 börjar. I fortsättningen är därför fukttransporten fram till ytan bestäm-

mande för uttorkningshastigheten. Vid ytan eftersträvas jämvikt med omgivande klimat och fukthalten i ytan närmar sig jämviktsfukthalten.

För att få en så snabb uttorkning som möjligt under fas 1, dvs då det står fritt vatten på ytan eller ytan är våt, eftersträvas enligt ekvationen ovan:

låg RF i luften
stor lufthastighet vid ytan
hög temperatur hos materialet

Vid avdunstningen från ytan åtgår värme, varför ytan nedkyls om inte värme tillföres.

Under fas 2, och speciellt för betong som inte har någon fas 1, fås en snabb uttorkning genom att fukttransporten fram till ytan göres så stor som möjligt. Detta åstadkommes främst genom

låg RF i luften
hög temperatur hos materialet

Uttorkningshastigheten är här så låg att lufthastigheten har mindre betydelse.

Under fas 1 finns det stora möjligheter att påskynda uttorkningen genom att skapa ett lämpligt torkklimat och i de flesta fall är en torkmetod med stor kapacitet att föredra. Under fas 2 däremot har man mindre möjligheter att få en snabb torkning genom att styra klimatet. Här krävs istället att torkningen pågår under tillräckligt lång tid varför det inte är någon vinst med att ha ett torkaggregat med för stor kapacitet.

2.3 Torkmetoder

Av det ovanstående framgår att det är många krav som kan uppställas på en lämplig torkmetod. Det viktigaste är att skapa ett torrt klimat, dvs låg RF, kring det material som skall torkas. Dessutom bör minst så mycket värme tillföras att det förlorade ångbildningsvärmets ersättes. Ett ytterligare värmetillskott är också önskvärt.

Med dagens höga energipriser måste dessutom erforderlig uttorkning utföras så att energiförbrukningen minskas kraftigt.

Nedan göres en kortfattad beskrivning av idag använda torkmetoder och funktionssättet hos aktuella torkaggregat.

2.3.1. Ventilation

På grund av avdunstningen från fuktiga byggnadsdelar kommer klimatet i en byggnad mycket snabbt att närma sig 100 % RF, varvid uttorkningen stoppas. Det enklaste sättet att erhålla ett rimligt torkklimat är att ventilera byggnaden, dvs bortföra den fuktiga luften och ersätta den med torr uteluft. Detta fungerar emellertid dåligt de delar av året som uteluften är fuktig och eftersom ingen värmetillförsel sker, fås en nedkylning av de fuktiga materialen.

Metoden är visserligen "gratis" men stora delar av året är den helt otillräcklig.

2.3.2 Ventilation + värmning

Genom att kombinera ventilation med uppvärmning elimineras nackdelarna med enbart ventilation. Den fuktiga inneluften ersättes med uteluft som uppvärms varvid en uttorkning kan ske även om den kalla uteluften håller 100 % RF. Vid t ex -10°C är ånghalten i uteluften 2.2 g/m^3 vid 100 % RF. Om uteluften uppvärms till $+20^{\circ}\text{C}$ är dess mättnadsånghalt 17.3 g/m^3 varför varje m^3 kan bortföra upptill ca 15 g vatten.

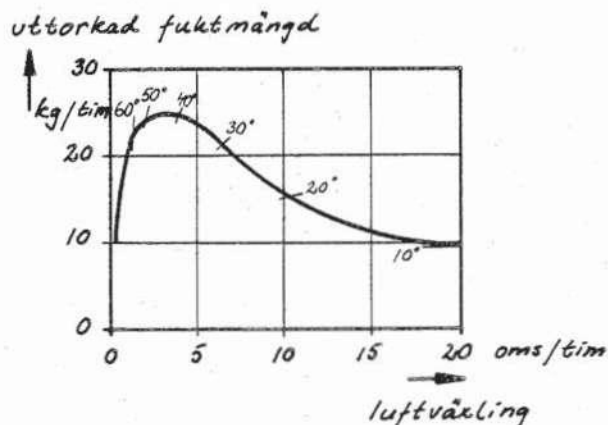
Vid användande av ett värmningsaggregat åtgår värmeenergi för att

täcka förlusten genom väggar, tak och golv
uppvärma uteluften (ventilationsluften)
ersätta ångbildningsvärmnet

där stora mängder energi kan åtgå i onödan om ventilationen är alltför stor. Förutsättningen för att uttorkningen skall ske ekonomiskt är att ventilationen är rätt avvägd. För stor ventilation ger onödiga energiförluster utan att en stor del av ventilationen har gjort någon nytta. För liten ventilation medför att den avdunstade fukten inte bortföres

i tillräcklig omfattning. Avvägningen skall göras så att man kan bortföra mesta möjliga fukt med minsta möjliga energiåtgång.

I nedanstående figur ges ett exempel på ventilationens inverkan på uttorkningen enligt Vinberg (1957).



Exemplet gäller torkning av 120 m^2 i ett lättbetonghus med ett värmningsaggregat på 50.000 kcal/tim ($\sim 60 \text{ kW}$) och en utetemperatur av -10°C . Bästa torkeffekt erhålles vid 3 oms/tim men vid 4 à 6 oms/tim minskar effekten obetydligt. Eftersom temperaturen i lägenheten då är lägre är värdena 4 à 6 att föredra. Vid en mycket kraftig ventilation på 40 oms/tim (öppna fönster) blir inte bara energiförluster-
na stora, utan torkeffekten blir också avsevärt sämre.

Under den andra uttorkningsfasen, och för betong, är det små mängder fukt som behöver bortföras, varvid erforderlig ventilation är liten men dock måste finnas. Härvid är risken speciellt stor att energiåtgången blir för hög eftersom ventilationen är svår att styra.

De uppvärmningsaggregat, som användes vid byggtorkning, värmer en mekaniskt framdriven luftström genom förbränning av olja, gasol eller el.

Av de oljeeldade aggregaten finns två typer, dels de där rökgaser och varmluft inte blandas och dels de där de blandas. För de senare gäller speciella krav på CO-halt i blandgasen. Normal värmeeffekt är ca 90 kW och luftflödet uppgår till $3000 \text{ m}^3/\text{tim}$.

De gasoleldade aggregaten är alla av blandgastyp och försedda med elektrisk tändsäkring som stänger gastillförseln om gaslågan slocknar och en magnetventil med samma funktion om den elektriska strömmen bryts. Aggregat finns med luftflöde $\sim 1000 \text{ m}^3/\text{tim}$ och värmeeffekt ca 6-13 kW.

Elektriska värmningsaggregat ("aeroterprar") användes uteslutande utan kanaler. Med ett kapslat rörelement med överhettningsskydd uppvärms den omkringvarande luften. Den angivna värmeeffekten hos dessa varierar mellan 5 och 30 kW och luftflödet mellan 900 och $3200 \text{ m}^3/\text{tim}$.

2.3.3 Avfuktning

Genom att helt stoppa ventilationen och på annat sätt bortföra fukten ur inneluften kan erforderligt torkklimat upprätthållas samtidigt som energiåtgången kan minskas avsevärt. Denna s k "avfuktning" kan ske på olika sätt.

Vid kondensationsaggregat kyls luften ned till under daggpunkten, kondenserar och bortledes. Den värme som frigöres vid kondensationen användes för att på nytt värma upp luften så att den blir några grader varmare än då den gick in i aggregatet. Kondensationsaggregaten fungerar emellertid inte vid låga temperaturer varför tillskottsvärme ofta erfordras.

Kondensationsaggregat finns med högst varierande prestanda. För byggtorkning är märkeffekten på upp till 1 kW, ofta med 5-10 kW tillskottsvärme, och luftflöden på upptill $1000-1500 \text{ m}^3/\text{h}$. I vissa fall finns automatisk avfrostning.

Vid sorptionsaggregat ledes den fuktiga luften förbi ett hygroskopiskt material. Detta kan vara kemikalier som absorberar vatten och därefter bortföres eller ett papper impregnerat med ett hygroskopiskt ämne som tar upp fukt från luften varpå det reaktiveras (torkas) med hjälp av värme och användes på nytt. Detta sker i ett kontinuerligt arbetande aggregat. Sorptionsaggregat fungerar utmärkt även vid låga temperaturer och har vanligtvis inte tillskottsvärme.

Sorptionsaggregat finns i olika storlekar. För byggtorkning finns aggregat med effekter på ~1-6 kW och luftflöden på ~100-600 m³/tim.

2.4 Praktiska råd

Svensk Byggnorm, SBN 67, angav följande råd för att underlätta uttorkningen av byggfukt (32:32).

- a) Avtäckningar och provisoriska vattenavlopp anordnas så, att regn- och smältvatten inte tränger in i byggnaden i skadlig omfattning.
- b) Uppvärmning påbörjas så snart det är lämpligt för ifrågavarande konstruktion. Om den permanenta värmeanläggningen inte kan färdigställas på ett tidigt stadium, anordnas provisorisk uppvärmning.
- c) Lämplig och efter väderleken avpassad luftväxling anordnas. Att luftväxlingen är tillräcklig tillses särskilt i sådana utrymmen som ej dagligen beträds, t ex vindsutrymmen och kryputrymmen under bottenbjälklag.

Buseth (1971) påpekar också faran med kondens i byggnadens kallare utrymmen. Speciellt på senhösten och vintern föreligger betingelserna för kondens. Den varma, fuktiga inne-luften letar sig enkelt genom ej helt färdigställda byggnadsdelar, t ex innertak och trapphus, och kondenserar på kallare ytor. Problemet avhjälpes med god ventilation även av kallare utrymmen och inläggning av plastfolie på t ex vindsbjälklag eller tätning av trapphus.

Vinberg (1957) pekar på risken att behöva utföra upprepad torkning av samma fukt som flyttar sig från utrymme till utrymme i de fall man bara torkar en del av byggnaden åt gången och resten är kall. Problemet är främst aktuellt vid flerfamiljshus men vid småhus med kallare kan problemet uppstå om inte trapputrymmet tätas då källaren torkas.

3. KVANTITATIV BESKRIVNING AV BYGGTORKNING

Vid uttorkning av byggfukt med ventilation eller avfuktning, ingår ett antal faktorer vilka kan beskrivas kvantitativt med större och mindre noggrannhet. Nedan görs ett försök att beskriva de olika delarna samt den totala värme- och fuktbalansen under torkningen.

I Figur 3.1 åskådliggörs principiellt de faktorer som inverkar på temperatur och fuktförhållanden vid en uttorkning av en byggnad. Storleken av de olika delarna bestämmer bl a vilken uttorkningseffekt man får och hur stor energiförbrukningen blir.

3.1 Avdunstning från materialytor

Från de material i byggnaden som är fuktigare än resp jämviktsfuktkvot avdunstar vatten i en takt som bestäms av omgivande klimat; temperatur och fuktighet, samt av materialets uppbyggnad och fuktinnehåll.

Så länge materialet har en fukthalt som är större än den kritiska sker avdunstningen som från en fri vattenyta (torkfas 1). Uttorkningshastigheten ges då av

$$g_1 = \beta(c_m - c) = \beta(c_m(\theta_{mtrl}) - \phi \cdot c_m(\theta_{luft})) \quad (\text{kg/m}^2 \cdot \text{s}) \quad (1)$$

där β = fuktövergångstalet för vattenånga, m/s, $\sim 0.3-1 \cdot 10^{-2}$

$c_m(\theta)$ = mätnadsånghalten, kg/m^3 vid temperaturen θ °C

c = ånghalten hos omgivande luft, kg/m^3

Fuktövergångstalet β beror av den omgivande luftens hastighet samt temperaturskillnaden mellan luft och avdunstningsyta på så sätt att β ökar med lufthastigheten och temperaturskillnaden.

Ekv. (1) kan vid temperaturskillnaden 0 skrivas

$$g_1 = \beta \cdot c_m (1 - \phi) \quad (2)$$

där ϕ är luftens relativa fuktighet. Detta uttryck kan även användas approximativt vid mindre temperaturskillnader.

Med $\beta \approx 0.7 \cdot 10^{-2}$ fås

$$g_1 = 0.7 \cdot 10^{-2} \cdot c_m(\theta)(1-\phi) \quad (\text{kg/m}^2 \cdot \text{s}) \quad (3)$$

vilken åskådliggöres i fig. 3.2 för olika temperatur och luftfuktighet. Som synes fås vid ett rimligt torkklimat en torkhastighet av storleksordningen $0.2 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{h}$, dvs för en 100 m^2 betongplatta med fritt vatten på ytan ca 20 kg/h . Detta är en realistisk siffra för betong bara i det fall det står vatten på ytan, se nedan. För material som gasbetong och tegel är det emellertid storleksordningen denna mängd vatten som kan torkas bort i början av torkskeket och för dessa material lönar det sig att använda metoder med mycket stor kapacitet.

För betong sjunker avdunstningshastigheten oerhört snabbt sedan eventuellt fritt vatten på ytan avlägsnats. Av fig. 3.3, vilken beräknats ur modell enligt Nilsson (1977), framgår att torkhastigheten för en 100 m^2 betongplatta är ca $0.2 - 0.6 \text{ kg/h}$ efter något dygns torkning. Bara om torkningen sker i hög fuktighet, $\geq 60\% \text{ RF}$, fås en avdunstningshastighet som är större än 0.7 kg/h efter ett dygns torkning. I det fall att betongen tillförts större mängder vatten under byggnadstiden blir torkhastigheten betydligt högre, men då bara de första dygnet.

3.2 Ångbildningsvärme

Då vatten avdunstar från ett material åtgår energi för förångningen, ca 2500 kJ per kg vatten. Denna värmemängd bör tillföras; i annat fall fås en nedkylning av det torkande materialet.

Värmeeffekten som åtgår för avdunstningen blir med torkhastigheten g i $\text{kg/m}^2 \cdot \text{h}$ och arean A i m^2 .

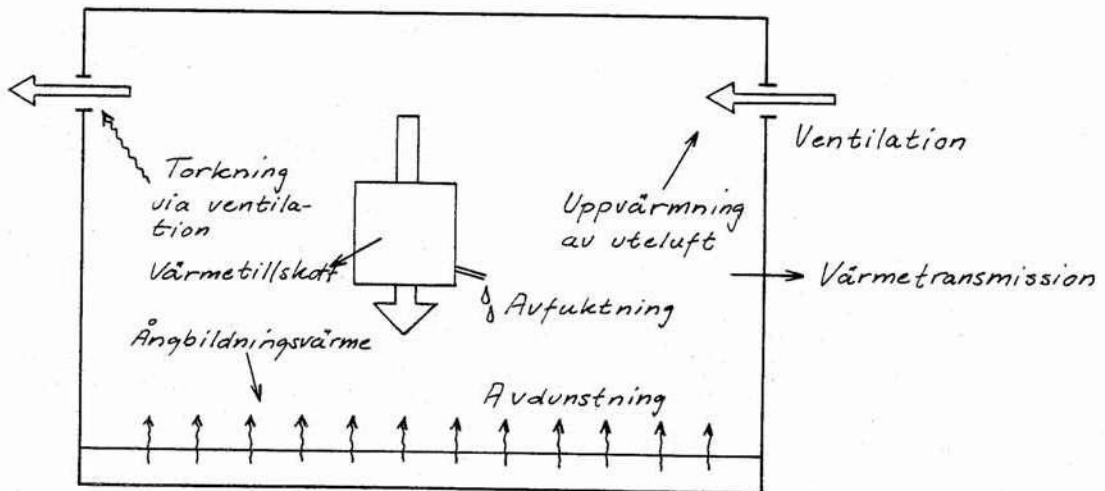


Fig 3.1 Faktorer som påverkar byggtorkning

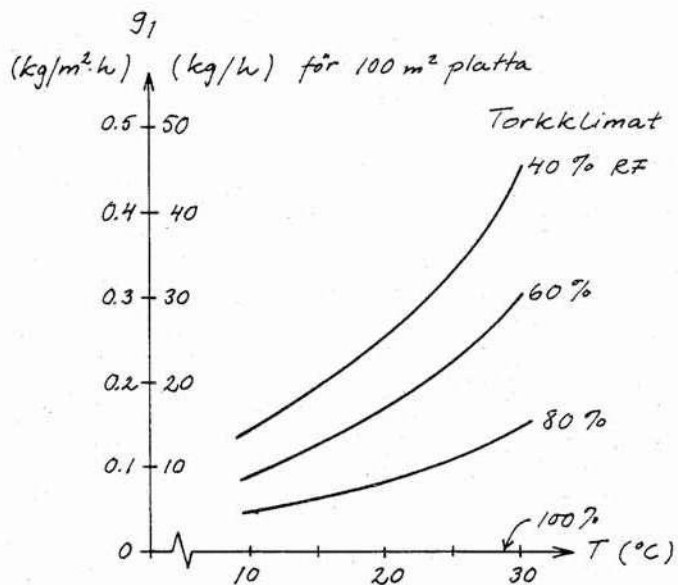


Fig 3.2 Uttorkningshastighet från en "våt" yta enligt ekv (3)

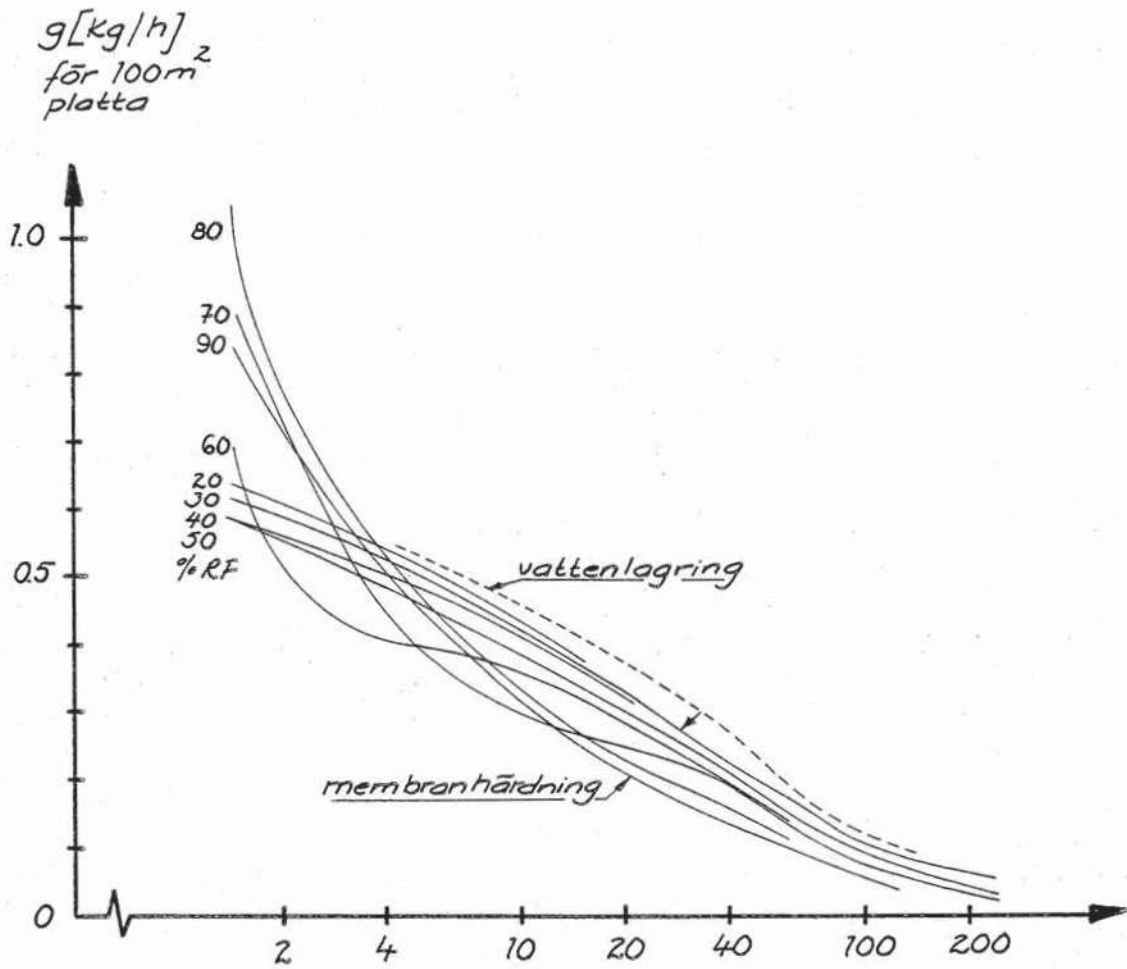


Fig 3.3 Torkhastighet för 100 m^2 betongplatta K250II, 10 cm tjock, torkande i olika klimat. Membran- och fukthärdning.

$$Q_{AVD} = \frac{2500 \cdot 10^3}{3600} \cdot g \cdot A \cong 700 \cdot g \cdot A \quad (\text{W}) \quad (4)$$

För exempelvis en 100 m^2 betongplatta med
 $g = 0.2-0.6 \text{ kg/h}$ (dvs $0.002-0.006 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{h}$) fås

$$Q_{AVD} = 140-420 \text{ W}$$

som alltså bör tillföras för att undvika nedkylning.

3.3 Värmetransmission

För att få en snabb uttorkning och ett drägligt arbets-
 klimat bör byggnaden uppvärmas då den blivit så tät att
 detta kan ske utan för stora energiförluster p g a ofri-
 villig ventilation m m.

Transmissionsförlusterna kan beskrivas med

$$Q_{TRANS} = k_{med} \cdot A_{oms1} \cdot (\theta_i - \theta_u) \quad (\text{W}) \quad (5)$$

där k_{med} = genomsnittligt k-värde för hela byggnaden,
 $\text{W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$

A_{oms1} = total omslutningsyta, m^2

θ_i, θ_u = inne resp utetemperatur, $^\circ\text{C}$

Genomsnittliga k-värdet kan uppskattas för ett någor-
 lunda färdigställt småhus ur energinormen till ca
 $k_{med} = 0.5 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$. Värdet på k-värdet är naturligtvis
 beroende av hur färdigställt huset är under uttorknings-
 tiden. Omslutningsytan för småhus är normalt ca
 $350-500 \text{ m}^2$, varför transmissionsförlusten blir

$$Q_{TRANS} = 175 - 250 \times (\theta_i - \theta_u) \quad (\text{W})$$

För innetemperaturen $+20^{\circ}\text{C}$ fås ungefärliga transmissionsförluster vid några olika utetemperaturer enligt nedanstående tabell.

Tab 3.1. Ungefärliga transmissionsförluster i småhus.

Utetemperatur θ_u ($^{\circ}\text{C}$)	Q_{TRANS} (kW)
+10	1,5-2,5
+ 5	2,5-4,0
0	3,5-5,0
- 5	4,5-6,5
-10	5,0-7,5
-15	6,0-9,0
-20	7,0-10,0

För att bibehålla en önskad innetemperatur erfordras alltså dessa energitillskott för att täcka transmissionsförlusterna.

Effekten av strålning genom fönster har ej beaktats i dessa förutsättningar för dimensionering av torkutrustning. Instrålningen kan också sättas lika med utstrålningen.

3.4 Ventilation

Ventilationen under uttorkningsskedet, ofrivillig eller önskad, påverkar både inneluftens fuktighet och temperatur och därmed också torkeffekten och energiförbrukningen.

Om ventilationen beskrivs med antalet luftomsättningar per timme, n (oms/h), och man försummar luftens temperaturutvidgning blir luftflödet, L

$$L = n \cdot V \quad (\text{m}^3/\text{h}) \quad (6)$$

där V = byggnadens volym, m^3 .

För att värma upp ventilationsluften till inneluftens temperatur åtgår en värmeeffekt av

$$Q_{\text{VENT}} = \gamma_{\text{luft}} \cdot L \cdot C_p \cdot (\theta_i - \theta_u) \quad (\text{W}) \quad (7)$$

Med luftens densitet, $\gamma_{\text{luft}} \cong 1.3 \text{ kg/m}^3$, och specifika värme, $C_p = 1000 \text{ J/kg} \cdot ^\circ\text{C}$, fås

$$Q_{\text{VENT}} = 1300 \cdot \frac{n \cdot V}{3600} \cdot (\theta_i - \theta_u) = 0.36 n \cdot V \cdot (\theta_i - \theta_u) \quad (\text{W}) \quad (8)$$

För exempelvis en byggnadsvolym av $V = 300 \text{ m}^3$ och utetemperatur 20°C under innetemperaturen fås

$$Q_{\text{VENT}} = 0.36 \cdot 300 \cdot 20 = 2.2 \text{ kW/oms}$$

dvs ofrivillig eller önskad ventilation ger stora energiförluster och därmed stora kostnader för byggtorkningen.

Förutom uppvärmning av ventilationsluften försvinner energi i form av ångbildningsvärme för den vattenånga som följer med ventilationsluften, se punkt 3.2 ovan.

Den mängd vattenånga som bortföres av ventilationsluften ges approximativt av

$$K_{\text{VENT}} = n \cdot V \cdot (c_i - c_u) = n \cdot V (\phi_i \cdot c_m(\theta_i) - \phi_u \cdot c_m(\theta_m)) \quad (\text{kg/h}) \quad (9)$$

Med till exempel ett uteklimat av $\pm 0^\circ\text{C}$ 90% RF och inne $+20^\circ\text{C}$ 60% RF fås för byggnadsvolymen 300 m^3

$$K_{\text{VENT}} = 300(0.6 \cdot 17.3 - 0.9 \cdot 4.9) \cdot 10^{-3} = 1.8 \text{ kg/h} \cdot \text{oms}$$

vilket är av samma storleksordning som många avfuktare, men med en energiåtgång som är ca dubbelt så stor och som inte kan tas tillvara.

3.4.1. Ofrivillig ventilation under byggnadstiden

Hur stor är då ventilationen i småhus under byggnadstiden? Detta beror naturligtvis på hur långt byggandet har fortskridit samt vind- och temperaturförhållanden. För att få en uppfattning om storleksordningen vid olika stadier i byggandet har en mindre undersökning gjorts av den ofrivilliga ventilationen med hjälp av spårgasmätning i hus under byggnad. Tillvägagångssätt och resultat redovisas kortfattat nedan.

I ett grupphusområde i Furulund i Skåne med 1 1/2-plans trätegelhus med fasadskal av tegel gjordes mätningar av den ofrivilliga ventilationen under byggnadsskedet. Mätningarna utfördes med spårgasanalysator, beskrivning se Hildingsson, Holmgren (1976) i samarbete med avd. för Byggnadsteknik I vid LTH.

Det bedömdes vara meningsfullt att utföra mätningarna först sedan fönstren drevats och samtliga ångspärrar monterats, då någon uppvärmning av husen dessförinnan knappast är motiverad och uttorkningen därför försumbar.

Med utgångspunkt från detta stadium i byggnadsskedet uppskattades storleksordningen hos inverkan av olika försök att minska respektive öka ventilationen. Resultatet redovisas i tabell 3.2.

Vid de låga vindhastigheter och låga temperaturskillnader ute- inne som fanns vid mättillfällena var ventilationen omkring 1 luftomsättning per timme innan några försök att påverka ventilationen hade gjorts. Genom att täta trapphålet med tejpad plastfolie minskade ventilationen till 0,3-0,4 oms/h oberoende av

om ventilationsdon var öppna eller ej. En stor del av ventilationen sker alltså genom övervåningen där bl.a. fönstren inte var drevade.

Genom att öppna ett fönster på vardera sidan av huset så att springan mellan karm och båge var ca 10 mm kunde ventilationen ökas till ca 1 oms/h från ca 0,3 oms/h då fönstren var stängda och ventilationsdon och trapphål tätade.

Denna mindre undersökning har bara haft som målsättning att ge en ungefärlig uppfattning om i vilket stadium av byggnadskedet som det är meningsfullt att byggtorka med en avfuktare och när enbart uppvärmning ger tillräcklig uttorkning p.g.a. den ofrivilliga ventilationen.

Undersökningen gör inte något anspråk på att vara fullständig och har bl.a. inte omfattad större vindhastigheter än 2-3 m/s. Några slutsatser bör ändå kunna dragas. För att överhuvudtaget det skall vara meningsfullt att använda avfuktare, istället för bara uppvärmning, för att minska energikostnaden måste bygget ha fortskridit så långt att samtliga ångspärrar är monterade och fönster och dörrar drevade. I hus med övervåning bör undertaket vara monterat om ingen annan lufttätning finns i mellanbjälklaget. Genom att sedan täta ventilationsdon och eventuellt trapphål bör ventilationen kunna nedbringas till under 0,5 oms/h.

Tab 3.2. Resultat från fältmätning av ofrivillig ventilation under byggnadsskedet

Hus	Datum	Lufttemperatur		Vind	Luftomsättning (oms/h)	Anmärkning
		Ute (°d)	Inne (°C)			
A	10.11. 1977	9-10	15		0,31	I) Ventiler & trapphål tätade
		10-12	15	1-3 m/s NV-NO	0,96	II) Som I) men ett fönster på ömse sida av huset öppnade med 10 mm springa
B	17.11. 1977	4-5	9-10	1 m/s	1,00	I) Stängda ventiler, öppet trapphål
		5-6	9-10	1 m/s	0,8-1,2	II) Öppna ventiler, öppet trapphål
		6-7	9-10	1 m/s	0,37	III) Öppna ventiler, trapphål tätat

Hus A & B är 1 1/2-plans träregelhus med fasadskal av tegel.
Hus A saknade vid mättillfället taktegel, undertak, mellanväggar samt drevning vid fönster i övervåning. Samtliga ångspärrar var monterade utom vid gavlar i öv. Fönster i BV drevade.
Hus B som A men även gipsundertak i BV monterade.

3.5 Avfuktning

På de flesta avfuktare som finns på den svenska marknaden har kapaciteten i några olika klimat mätts upp, främst för att de kapaciteter som en del tillverkare anger är maxvärden som sällan uppnås i praktiken och därför är ointressanta vid val av byggtorkmetod.

Mätningarna har tillgått så att respektive aggregat placerats i klimatrum med stabil temperatur och fuktighet. I luftströmmen före och efter aggregatet har temperatur och relativ fuktighet mätts med termoelement resp hygrosensorer och lufthastigheten har mätts i ett antal punkter för att få luftflödet. Samtidigt har avfuktad mängd vatten samlats upp och vägts och denna mängd har jämförts med den man kan beräkna ur klimat- och luftflödesmätningen. Dessutom har energiförbrukningen registrerats under försökets gång.

Nedan redovisas resultatet och en jämförelse med av tillverkaren angivna data där dessa varit tillgängliga.

3.5.1. Kondensationsaggregat

De kondensationsaggregat som undersökts är MERX, KONDEXOR 1&2 samt FRICO PAF 115 & PAF 150. Dessutom har uppgifter om ett nytt aggregat, BACHO, inhämtats från tillverkaren.

De aggregat som ingått i undersökningen åskådliggörs i fig. 3.4.

MERX Kapaciteter enligt aktuella och tidigare mätningar samt uppgifter från tillverkaren framgår av fig. 3.5. Energiåtgången har uppmätts till ca 1 kW och luftflödet till ca 1000 m³/tim.

KONDEXOR Uppmätta kapaciteter för typ 1&2 framgår av fig. 3.6. Energiåtgången är ca 1.2 resp 1.3 kW och luftflödet ca 1400 m³/h resp ca 900 m³/h.

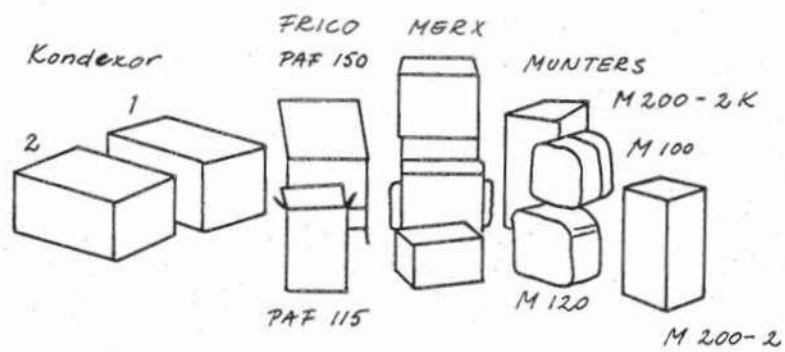
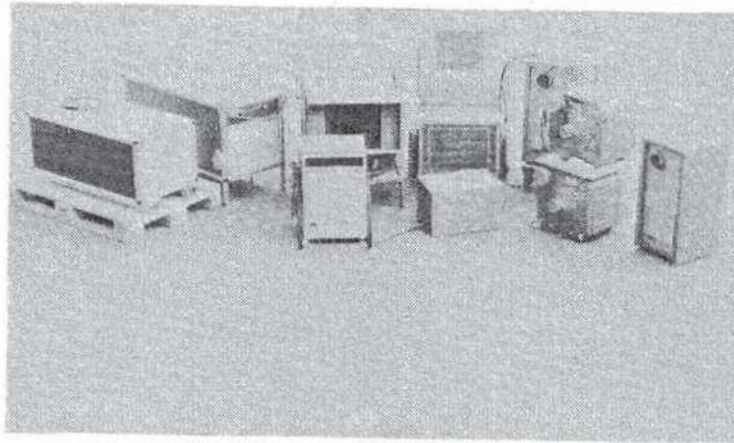


Fig.3.4. Avfuktare som testats i laboratorium

FRICO PAF 150 Mätningar har gjorts på en prototyp men på grund av ett läckage på kylsystemet erhöles missvisande värden. I fig 3.7 återges istället kapaciteter enligt FRICO, uppmätta på KTH i Stockholm på ett annat aggregat. Energiåtgången är ca 1 kW och luftflödet ca 1250 m³/h.

FRICO PAF 115 Detta aggregat är avsevärt mindre än övriga. Uppmätta kapaciteter framgår av fig. 3.8. Energiåtgången är ca 0.5 kW och luftflödet 550-600 m³/h.

BACHO CLC.030 Under 1977 har Bacho introducerat en serie avfuktare som av tidsskäl inte ingått i undersökningen. Uppgifter om kapaciteten för det största aggregatet har emellertid erhållits av tillverkaren och dessa framgår av fig.3.9 Energiåtgången uppges till 1.5 kW och luftflödet till 1800 m³/h.

3.5.2 Sorptionsaggregat

De sorptionsaggregat som undersökts är av fabrikat MUNTER'S; M100, M120, M200-2 utan kondensor samt M200-2K med kondensor. Med ett sorptionsaggregat utan kondensor blåses den varma regenereringsluften ut ur byggnaden med energiförluster som följd. Detta har lösts genom att koppla till en kondensor där regenereringsluften avkyls med rumsluft varvid vattenången kondenseras och rinner bort.

M200-2K Uppmätta kapaciteter för M200-2 med kondensor framgår av fig 3.10. Energiåtgången är ca 2 kW och luftflödet ca 250 m³/h.

M100, 120 & 200-2 För sorptionsaggregat utan kondensor kan inte avfuktad mängd vatten uppmätas direkt. Istället har uppmätta temperaturer och fuktigheter före och efter aggregatet jämförts med tillverkarens data. Vid så gott som samtliga mätningar har uppmätts en kapacitet som är större än vad tillverkaren anger vilket kan ha flera förklaringar såsom svårighet att mäta vid låga relativa

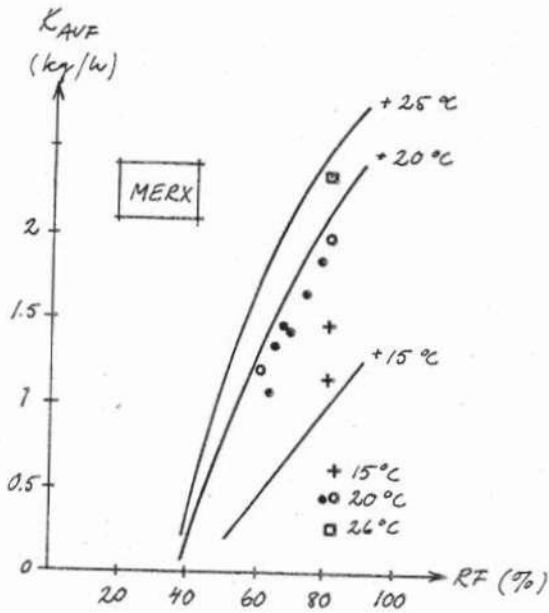


Fig. 3.5. Kapaciteter för MERX avfukare. Kurvor enligt tillverkaren. Punkter enligt mätningar.

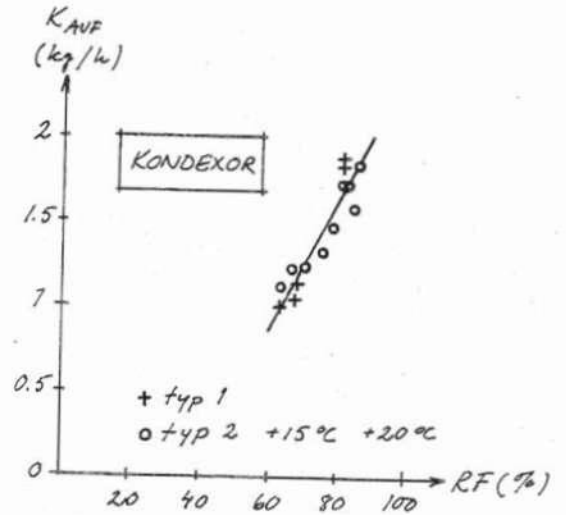


Fig. 3.6. Kapaciteter för KONDEXOR avfuktare enligt mätningar.

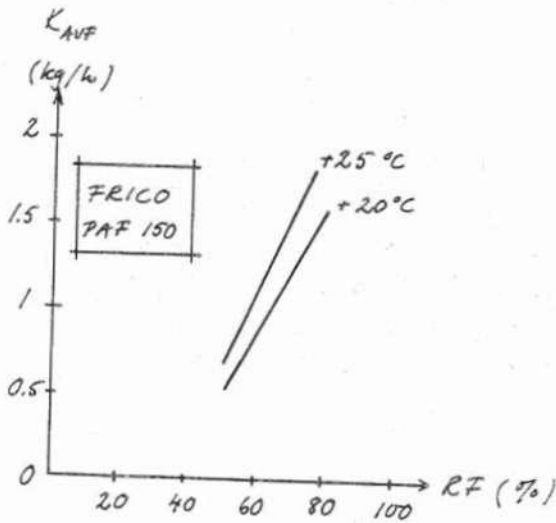


Fig. 3.7. Kapaciteter för FRICO PAF 150 enligt tillverkaren.

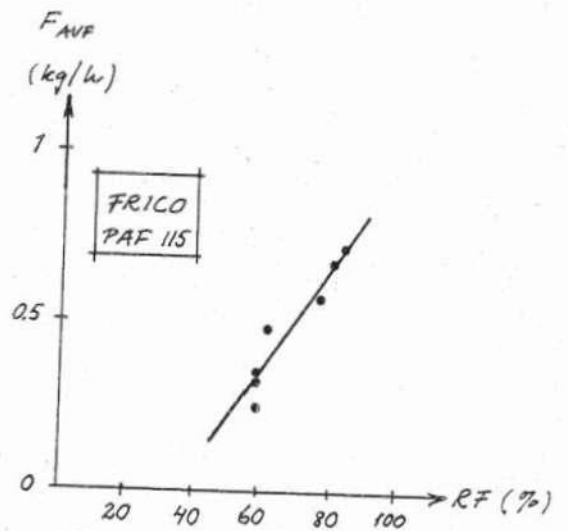


Fig. 3.8. Uppmätta kapaciteter för FRICO PAF 115. Obs! annan skala på vertikala axeln.

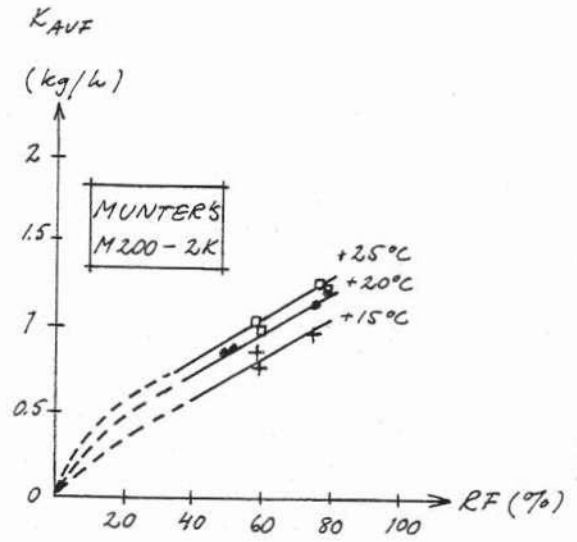
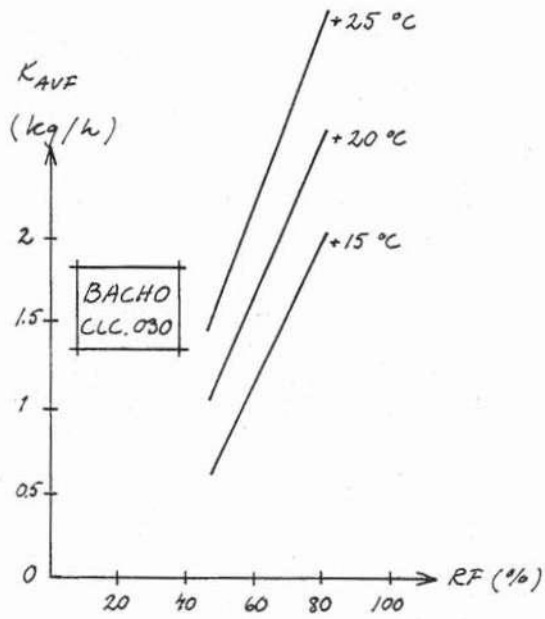


Fig. 3.9. Kapaciteter för BACHO CLC 030 enligt tillverkaren.

Fig. 3.10 Uppmätta kapaciteter för MUNTER'S M200-2K.

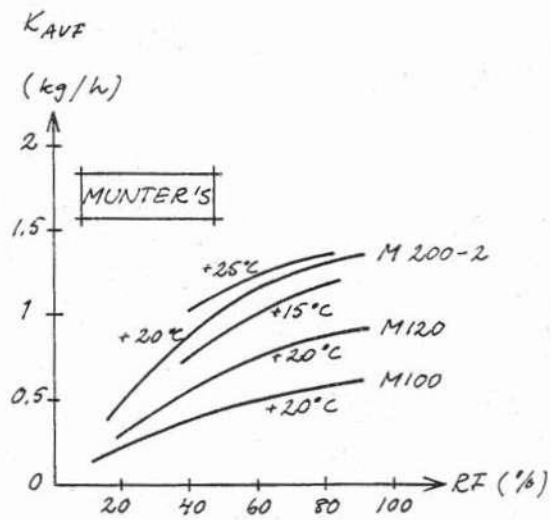


Fig. 3.11. Kapaciteter för MUNTER'S utan kondensor beräknade ur tillverkarens data.

fuktigheter, avvikande regenereringstemperatur och luftflöde. Av dessa anledningar har kapaciteterna beräknats ur tillverkarens data och resultatet åskådliggörs i fig.3. 11. Energiåtgången uppges av tillverkaren till 0.8, 1.3 resp 1.8 kW och luftflödet till 150, 120 resp 200 m³/h vid ett visst mottryck, dvs då aggregaten är kopplade till rörkanaler eller slangar.

Förutom ovanstående aggregat har MUNTER'S en serie betydligt större sorptionsaggregat som inte medtagits då de bedömts vara ointressanta för byggtorkning av betong. För andra material kan de emellertid vara aktuella.

3.5.3. Sammanfattning

Av det ovanstående framgår att kondensationsaggregaten har kapaciteter av samma storleksordning med stor kapacitet vid höga fuktigheter och mycket låg vid låga fuktigheter.

Sorptionsaggregaten har normalt lägre kapaciteter än kondensationsaggregaten vid höga fuktigheter men har i gengäld betydligt större kapaciteter än dessa vid låga fuktigheter.

3.6. Värmetillskott

De flesta avfuktare i marknaden är utrustade med tillskottsvärme och vid torkning med ventilation + värme fås tillskottsvärme ofta med en el-värmare s.k. aerotemper. Nedan ges en sammanställning av vilken tillskottsvärme som olika aggregat har. Samtliga aggregat med tillskottsvärme är utrustade med termostat.

	AGGREGAT TYP	MÄRKEFFEKT, kW	TILLSKOTT, kW	TOTALT, Q_T , kW
A V F U K T A R E	MERX	1	9	1-10
	KONDEXOR	1.2	7	1.2-8.2
	FRICO PAF 150	1	-	1
	FRICO PAF 115	0.5	-	0.5
	BACHO CLC.030	1.5	9	1.5-10.5
	MUNTER'S M200-2K	2	-	2
	M200-2	1.8	-	1.8
	M120	1.3	-	1.3
M100	0.8	-	0.8	
V Ä R M A R E	FRICO & BACHO	5	0-2.5-5	0-2.5-5
		10	0-5-7.5-10	0-5-7.5-10
		15	0-5-10-15	0-5-10-15

För avfuktare utan tillskottsvärme är naturligtvis en kombination med en el-värmare lämplig.

Värmetillskottet från en avfuktare är, förutom märkeffekt och tillskottsvärme, frigjort värme vid kondensationen eller absorptionen i aggregatet. Denna värmemängd är av samma storleksordning som det ångbildningsvärme som åtgår för avdunstningen från materialytorna. Vid beräkning av erforderligt värmetillskott kan ångbildningsvärmets utelämnas vid användande av en avfuktare.

3.7.Värmebalans

För att bibehålla en önskad torktemperatur i byggnaden erfordras ett energitillskott av

$$Q_T = Q_{\text{TRANS}} + Q_{\text{AVD}} + Q_{\text{VENT}} \quad (\text{W})$$

eller

$$\begin{aligned} Q_T &= k_{\text{med}} \cdot A_{\text{oms1}} \cdot (\theta_i - \theta_u) + 700 \cdot g \cdot A_{\text{mtr1}} + 0.36 \cdot n \cdot V \cdot (\theta_i - \theta_u) = \\ &= 700 \cdot g \cdot A_{\text{mtr1}} + (k_{\text{med}} \cdot A_{\text{oms1}} + 0.36 \cdot n \cdot V) (\theta_i - \theta_u) \quad (\text{W}) \quad (9) \end{aligned}$$

dvs energibehovet bestäms i huvudsak av byggnadens utformning samt temperaturskillnad inne-ute.

Med byggnadens dimensioner enligt tidigare exempel har energibehovets beroende av temperaturförhållanden och ventilation åskådliggjorts i fig. 3.12. Av figuren framgår att ångbildningsvärmets försumbart vid stora temperaturskillnader och att ventilationsförlusterna är av samma storleksordning som transmissionsförlusterna vid $\sim 1,5$ luftomsättning per timme.

Vid rimliga utetemperaturer och rimligt stor ventilation under torkningen är den tillskottsvärme som kan fås av en avfuktare eller el-värmare fullt tillräcklig. Vid större effektbehov, dvs vid kraftig ventilation, är det knappast försvarbart ur energisynpunkt att

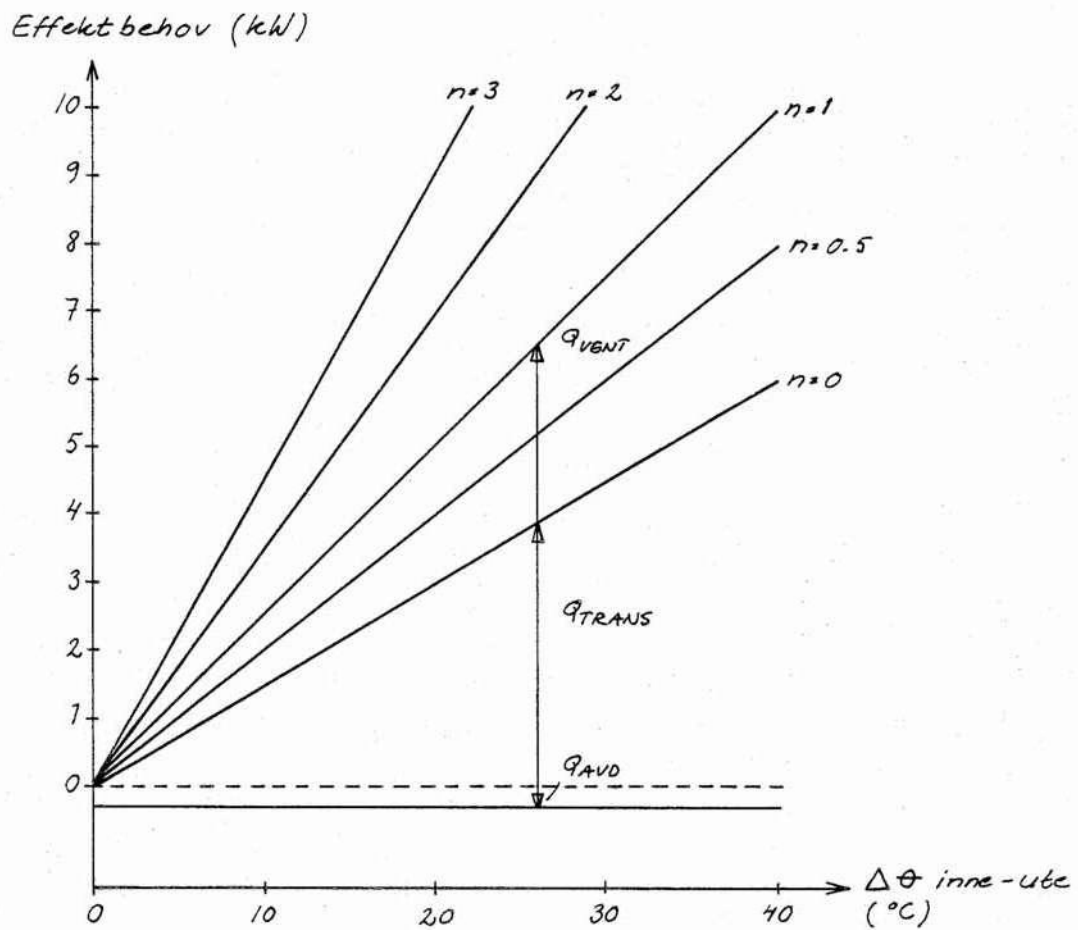


Fig. 3.12. Exempel på effektbehov vid byggtorkning av normalt småhus.

värma upp byggnaden för byggtorkning. Först när byggnaden blivit så tät att den ofrivilliga ventilationen är maximalt av storleksordningen 1 oms/h kan detta vara aktuellt. Naturligtvis inverkar utetemperaturer på detta så att uppvärmning kan igångsättas tidigare vid gynnsam väderlek.

3.8 Fuktbalans

För att få rimligt snabb uttorkning bör ett torkklimat med högst 60% RF eftersträvas. För att uppnå detta erfordras ventilation och/eller avfuktning med en torkkapacitet som överskrider avdunstningshastigheten från fuktiga material.

Så gott som alltid fås en viss torkkapacitet av den ofrivilliga ventilationen och bara återstoden måste tas om hand av en avfuktare. Energiförbrukningen vid ofrivillig ventilation har behandlats ovan och torkkapaciteten kan fås ur ekv (9). I fig 3.13 återges ekvationen i nomogramform. Ur detta erhålles ventilationens torkkapacitet ur ute- och inneklimat samt ventilationsmängden.

Vid ouppvärmad byggnad fås en mycket liten torkeffekt av ventilationen. Även på sommaren, med en ungefärlig luftfuktighet ute av ca 70%, blir relativa fuktigheten i byggnaden så hög att även om torkeffekten av ventilationen är tillräcklig för att ta hand om det vatten som avdunstar, fås en mycket långsam uttorkning på grund av den låga temperaturen och den höga fuktigheten inomhus.

För att få en snabb uttorkning krävs därför en uppvärmning; med energiförluster som följd. I nedanstående tabell ges exempel på torkeffekt och energiförluster via ventilationen vid uppvärmning till $+20^{\circ}\text{C}$ för sommar- och vinterfall med olika utetemperaturer. Exemplet gäller för en byggnadsvolymer av 300 m^3 .

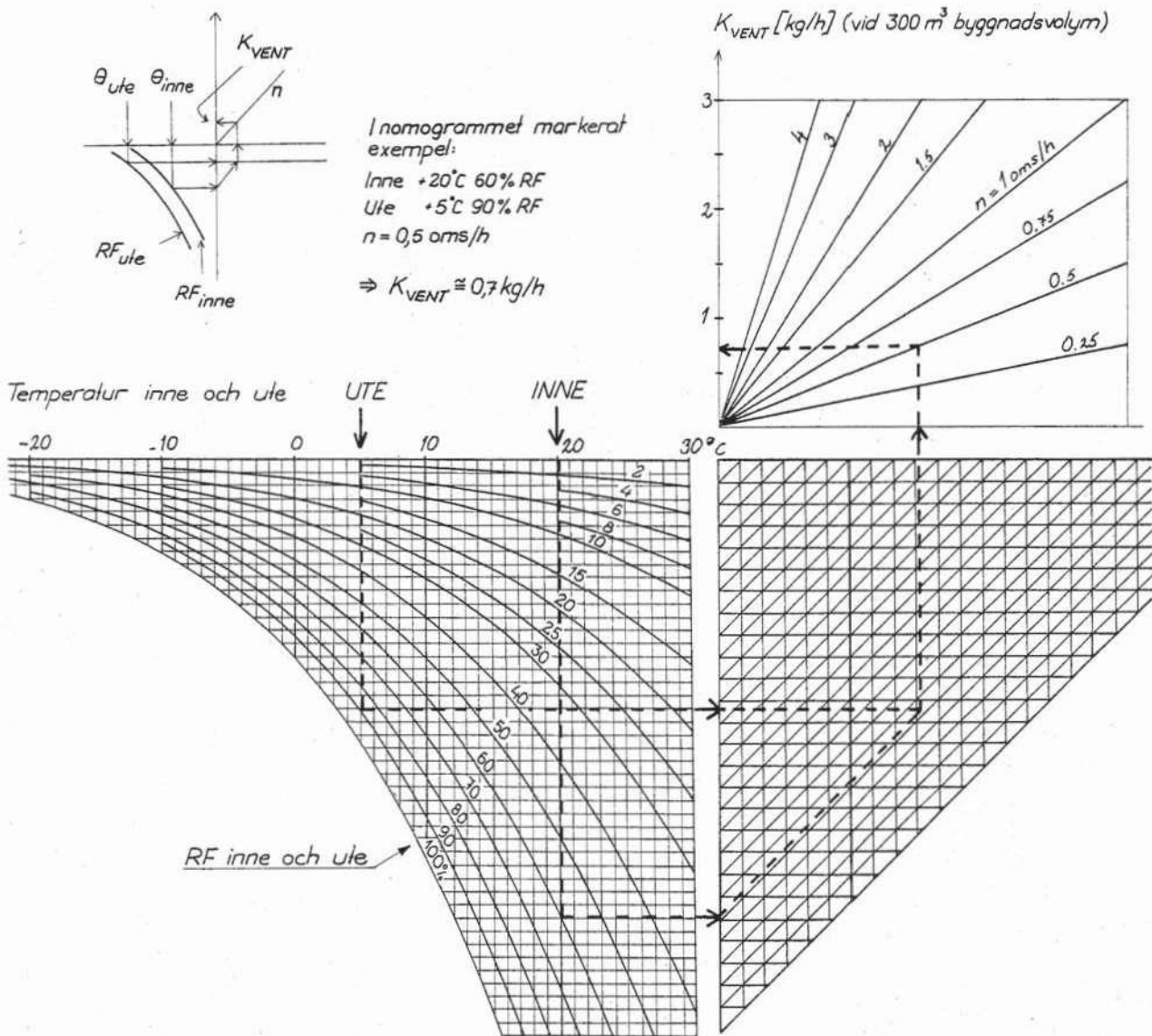


Fig.3.13. Nomogram för bestämning av ventilationens torkkapacitet ur klimatbetingelser inne och ute.

Inneklimat +20°C ~60% RF	Sommar ~70% RF		Vinter ~90% RF	
	+15°C	+10°C	+5°C	-10°C
Torkeffekt (kg/h)				
a) per luftomsättning	~0.5	~1.3	~1.4	~2.8
b) "tätat" hus (~0.3 oms/h)	0.1-0.2	~0.4	~0.4	~0.8
Energiförluster (kW) per luftomsättning	~0.8	~2	~2.6	~6.0
Antal luftomsättningar för att få en torkeffekt av 0.5 kg/h	1	0.4	0.4	0.2

Tabell 3.4 visar torkeffekt, energiförluster och antal luftomsättningar för ett hus 300 m³ byggvolym.

För att få erforderlig torkeffekt av ventilationen måste denna styras efter uteklimatet. Om detta är möjligt kan effektbehovet för ventilationen reduceras till ca 0.5 kW.

Vid användning av avfuktare bör, för att detta skall vara motiverat, huset vara så tätt som möjligt, dvs färdigställandet kommit så långt att den ofrivilliga ventilationen är i storleksordning med energinormens krav. Med ventiler i badrum och kök tätade, bör ventilationen då uppgå till max 0.3 oms/h. Den ungefärliga torkeffekt detta medför framgår också av ovanstående tabell.

3.9. Energiförlust/torkeffekt

Vid en jämförelse av energiförlusterna vid byggtorkning med ventilation+värme resp. avfuktning bortses rimligtvis från transmissionsförlusterna genom omslutningsytorna.

Energiförlusten per borttorkad liter vatten kan allmänt skrivas (jämför ekv. (4)).

$$Q/K = \frac{Q_{AVD} + Q_{VENT}}{K_{VENT} + K_{AVF}} = \frac{0,70 \cdot K_{VENT} + Q_{VENT}}{K_{VENT} + K_{AVF}} \quad (\text{kWh/l}) \quad (10)$$

Vid enbart ventilation är $K_{AVF} = 0$ varför erhålles

$$(Q/K)_{VENT} = 0,70 + \frac{0,36 \cdot n \cdot V \cdot (\theta_i - \theta_u) \cdot 10^{-3}}{n \cdot V \cdot (c_i - c_u)} = 0,70 + 0,36 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{\theta_i - \theta_u}{c_i - c_u} \quad (\text{kWh/l}) \quad (11)$$

dvs energiförlusterna per borttorkad liter vatten är oberoende av ventilationens storlek och beror bara på inne- och uteklimatet.

Ekv (10) och (11) jämföres i ett exempel i fig.3.14. Vid samma torkeffekt, t.ex. 2 l/h, är energiförlusterna per liter vatten mer än 4 gånger så stor vid torkning genom enbart ventilation jämfört med avfuktning vid begränsad ventilation.

Av figuren framgår också att man alltid, oberoende av ventilationens storlek, har större torkeffekt och lägre energiförlust vid avfuktning. Skillnaden är naturligtvis störst vid mycket låg ventilation.

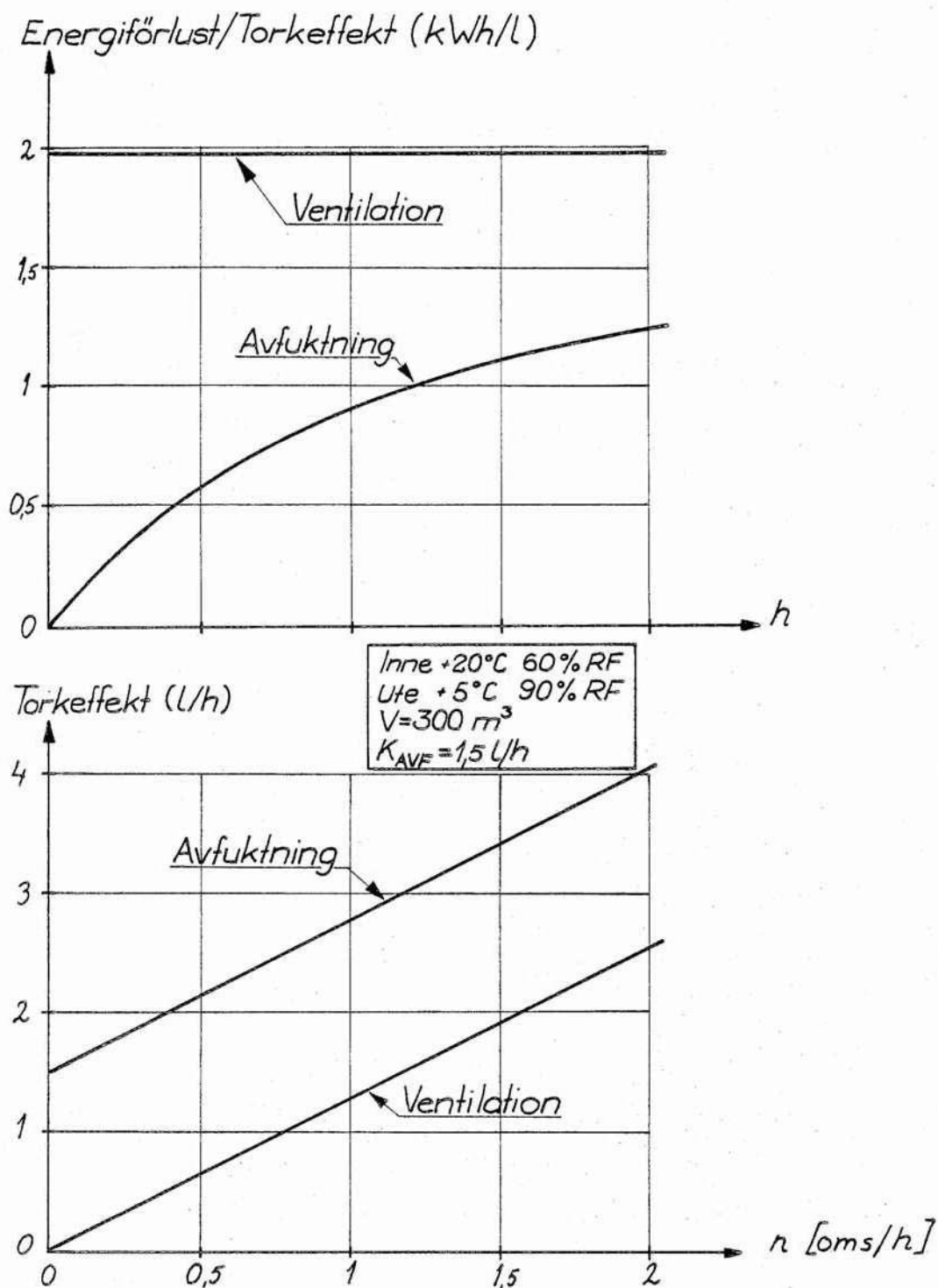


Fig. 3.14. Jämförelse mellan byggtorkning med ventilation respektive avfuktning med avseende på energiförlusten per borttorkad liter vatten. Exempel som förutsätter att hela torkeffekten kan utnyttjas dvs fuktproduktionen är tillräckligt stor.

4. VAL AV METOD

Uttorkning av byggfukt kan betraktas i två steg där lämpliga metoder, energiåtgång och uttorkningshastighet radikalt skiljer sig åt; jfr fig 4.1.

STEG 1 Material våta på ytan; ev fritt vatten el. snö.
Stor avdunstningshastighet ⇒
Största möjliga torkkapacitet önskvärd.

STEG 2 Yttorra material. Låg avdunstningshastighet ⇒
Erforderlig torkkapacitet begränsad, men torkning under lång tid.

4.1.Uttorkningssteg 1

Avdunstningshastigheten från materialen är här så stor att inget byggtorkningsaggregat förmår ta hand om vatten i den takt som materialet kan avge det. Snabbast möjliga uttorkning fås genom att först bortföra så mycket som möjligt för hand av fritt vatten el. snö och sedan torka med så stor kapacitet som möjligt, avfuktning eller ventilation+uppvärmning.

Erforderlig torktid bestäms av

- 1) Hur mycket vatten som måste bortföras för att få yttorrt
- 2) Kapaciteten hos vald torkmetod

4.1.1. Ventilation + värmning

För att få tillräckligt stor ventilation, och därmed kapacitet, oberoende av vindförhållandena bör uppvärmningen tillgå så att uteluft uppvärms och blåses in i byggnaden varvid tillses att luften kan föras ut i andra änden av byggnaden.

Kapaciteten man kan uppnå kan erhållas ur fig 3.13. föregående kapitel. Vid t ex +5°C 90% RF ute och +20°C 90% RF inne fås ca 3 l/h per luftomsättning. Med en invändigt placerad el-värmare bestäms ventilationen av husets täthet och vindförhållanden varför det är mycket

Maximalt möjlig
Uttorkningshastighet

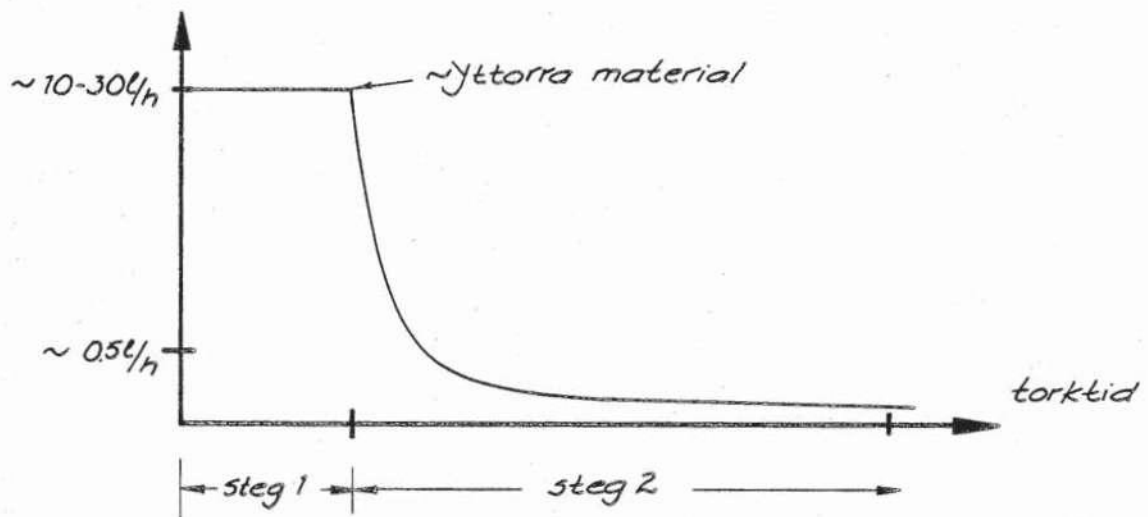


Fig. 4.1. De två stegen vid uttorkning av byggfukt i
100 m² betongplatta.

svårt att styra torkningen. Med en utvändigt placerad värmare; elektrisk, olje- eller gasoldriven, kan man enkelt få upp till 3-10 luftomsättningar per timme, dvs med ovanstående exempel kan man bortföra över 10 l/h.

Energi, förutom för att täcka transmissionsförlusten, åtgår för förångningen av vattnet, ca 2500 kJ/kg dvs ca 0.7 kWh/l, samt för uppvärmning av ventilationsluften, ca 0,6 kWh/l, totalt ca 1,3 kWh/l i detta exempel. Detta är under förutsättning att avdunstningshastigheten från fuktiga material verkligen är lika stor som torkkapaciteten, om inte, blir energiåtgången för varje borttorkad liter vatten avsevärt större. Torkning med denna kraftiga ventilation får alltså inte fortsätta under steg 2 i uttorkningen.

4.1.2. Avfuktning

Genom att täta huset så mycket som möjligt och använda en avfuktare för torkningen, kan avsevärda mängder energi sparas.

Kapaciteter för olika avfuktare framgår av föregående kapitel. Vid +20°C och upp mot 90% RF ligger denna på ca 2-3 l/h för de flesta avfuktarna och avfuktare med större kapacitet finns.

Energi, förutom för att täcka transmissionsförlusterna, åtgår enbart för förluster genom ofrivillig ventilation då ångbildningsvärmnet återfås vid kondenseringen i avfuktaren. Har man lyckats få huset så tätt att den ofrivilliga ventilationen är mindre än 0.5 oms/h behövs för ovanstående exempel ca 1,8 kW, dvs vid en torkkapacitet hos avfuktaren av 3 l/h och av ventilationen 1,5 l/h blir energiförlusten 0,4 kWh/l, i detta exempel mindre än 1/3 av vad som åtgår vid torkning med ventilation + värmning.

4.1.3. Kondensrisk

Under torksteg 1 är det av största vikt att tillse att den varma, fuktiga luften inte kan kylas ned och kondensera inuti byggnaden, t ex övervåning, vind o dyl.

Detta undviks genom att avskärma dessa delar av byggnaden från den delen som skall torkas med någon form av ångspärr eller genom att värma upp dessa delar också så att luftfukten inte kan kondensera.

Kondensrisk föreligger också i värmeisolerade vägg- och takkonstruktioner som ännu saknar den invändiga ångspärren. Uppvärmningen bör därför sättas in först då samtliga ångspärrar finns på plats.

4.2. Uttorkningssteg 2

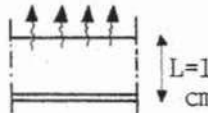
Avdunstningshastigheten från materialen har sjunkit kraftigt och erforderlig torkkapacitet är betydligt mindre än under steg 1. En snabb uttorkning av en betongplatta fås inte här genom att ha stor torkkapacitet utan genom att ha valt material och konstruktion så att den erforderliga torktiden minskar. I tabell 4.1. anges de torktider som krävs för att ett betonggolv skall få erforderlig uttorkning. Inverkan av material, härdningsförhållanden samt konstruktionstyp belyses.

Under denna erforderliga torktid krävs någon form av uttorkningsmöjlighet som kan ta hand om det fukttillskott som fås av avdunstningen.

I fig 4.2. visas avdunstningshastigheten för en betongplatta i några olika torkklimat och för membranhärdad respektive fukthärdad betong. I föregående kapitel framgår att torkeffekten av den ofrivilliga ventilationen för en uppvärmd byggnad är tillräcklig under hela torktiden, utom de första två veckorna, förutom sommartid i Sydsverige. I norra Sverige är torkeffekten vintertid av ofrivillig ventilation tillräcklig under så gott som hela torksteg 2.

Under senare delen av den erforderliga torktiden, erhålles alltså tillräcklig torkkapacitet av den ofrivilliga ventilationen om byggnaden är uppvärmd, men i början av steg 2 krävs i de flesta fall en komplettering med avfuktare eller ytterligare ventilation.

Tabell 4.1. Erforderlig torktid för byggfukt i betong, Nilsson (1977).

ERFORDERLIG TORKTID FÖR BYGGFUKT I BETONG (vid läggning av täta, fukt känsliga ytskikt; $RF_{KRIT}=90\%$)					
"NORMALFALL"		Btg II K 250 T 1 mån. gammal, membranhärdad	Ex. platta på mark gjuten på plastfolie	ERFORDERLIG TORKTID 60 dygn	
Vid avvikelse från "normalfallet" multipliceras erforderlig torktid med nedan angivna "multiplikatorer" x					
VARIABEL	MULTIPLIKATOR				ANM.
BETONGKVALITET	K 150 ~2x	K250 1x	K250luft ~0,5x	K400 K400luft 0,5-0,6x 0,3x	"luft"=kraftig luftinblandning
	OBS! Får ej utsättas för vattenbegjutning, regn- & smältvatten				
TORKKLIMAT	RF	20-50% 1x	60% 1,2x	80% 1,5x	
	T	10°C 1,3-1,4x	20°C 1x	30°C 0,6-0,7x	
PLATTJOCKLEK	L=	6 0,4x	8 0,7x	10 1x	Gäller vid en- sidig uttorkning. Vid tvåsidig är L=halva plattjockleken
	(cm)	12 1,4x	14 1,8x	16 2,3x	
		20 3,3x	30 6,3x		
	(gäller vid K250, högre kvalitet ger lägre värden.)				
UNDERLIGGANDE VÄRMEISOLE- RING	5 cm cellplast 0,9-1x	15 cm lätt- klinker 0,7-0,8x	5 cm min.ull 0,6-0,7x		OBS! Ej plast- folie mellan betong och värmesolering
KRITISKT FUKTILLSTÄND	$RF_{KRIT}=90\%$ 1x	80% ~4x	70% ~6x		
HÄRDNING	Membranhärdning 1x	Vattenlagring 1,2x			Gäller K250. K400 mycket högre värde, K150 lägre.

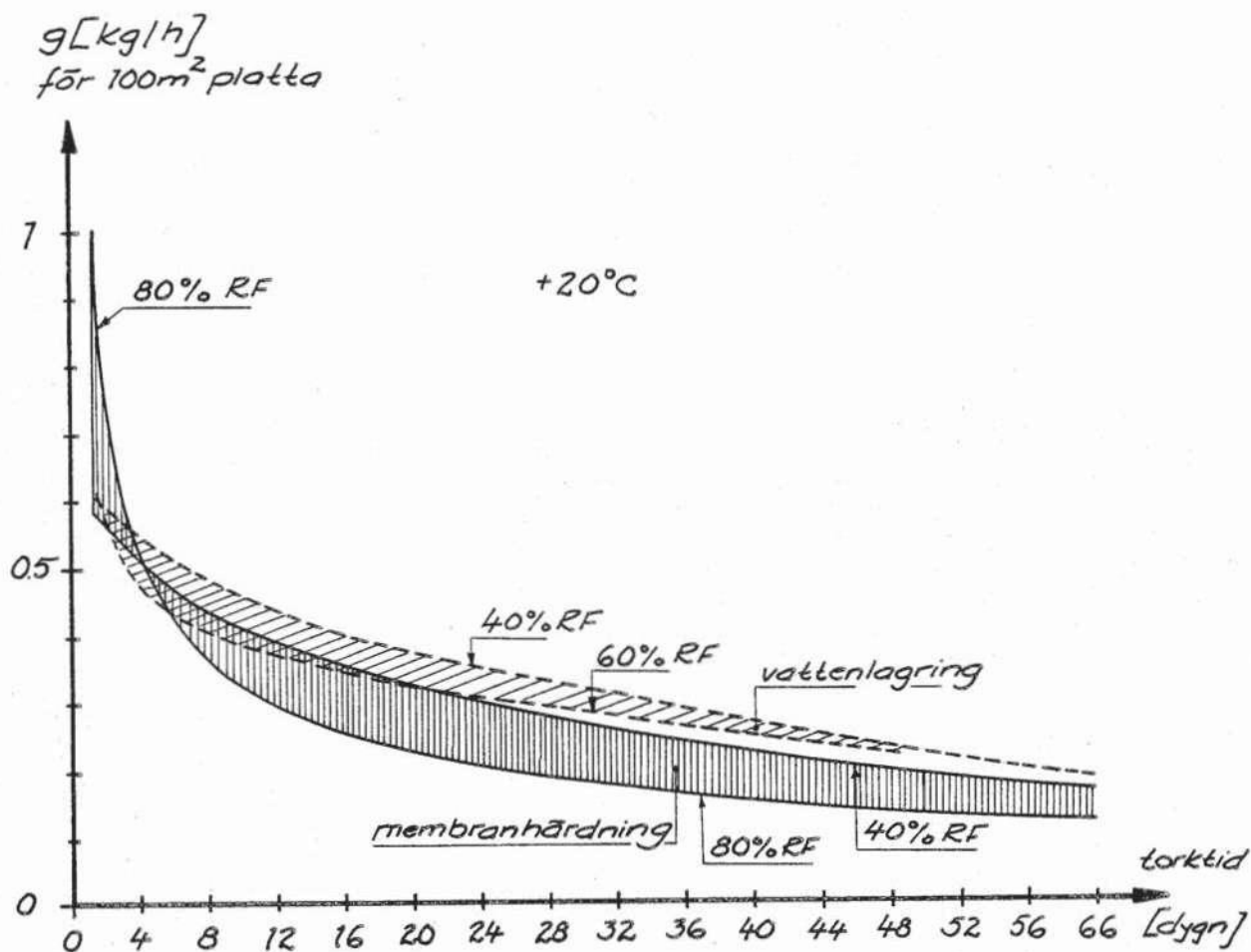


Fig 4.2 Avdunstningshastighet från en 100 m^2 betongplatta under torksteg 2. Inverkan av torkklimat och härdningsbetingelser.

4.2.1. Ytterligare ventilation utöver ofrivillig

För att få tillräcklig ventilation i början av torksteg 2 krävs en "tilläggsventilation" av maximalt 1-2 oms/h, beroende på uteklimatet. Detta innebär extra energiförluster vars storlek påverkas av utetemperaturen och eftersom en sådan "tilläggsventilation" är mycket svår att styra, kan dessa energiförluster bli stora. Blir ventilationen å andra sidan för liten bromsas uttorkningen upp med längre erforderlig torktid som följd.

Metoden är alltså tveksam ur två synpunkter:

- 1) Risk för stora energiförluster
- 2) Risk för otillräcklig uttorkning

För varje luftomsättning utöver vad som behövs åtgår ca 10-70 kWh per dygn, beroende på utetemperaturen, vilket är en ren energiförlust.

4.2.2. Avfuktning

Utöver torkeffekten av den ofrivilliga ventilationen krävs en torkkapacitet vid användande av en avfuktare på storleksordningen 0.5-1 l/h de första dygnet av steg 2 och under 0.5 l/h de följande veckorna om fukt avges endast från betongplattan. Finns det emellertid stora ytor av andra fuktiga material, träreglar, tegelväggar, gasbetong osv, måste kapaciteten ökas.

Vid torkning med avfuktare föreligger ingen risk för onödiga energiförluster om huset tätats så att den ofrivilliga ventilationen är liten. Inte heller är det någon större risk för otillräcklig uttorkning då en avfuktare arbetar i ett så gott som slutet utrymme och inverkan av väder och vind är liten.

4.2.3. Risker att torka för mycket

Torkningen får ej ske okontrollerad ty då kan skador uppstå på exempelvis träpanel. Rekommenderad undre gräns för RF 30-40%.

Detta kan lösas genom att aggregaten förses med inställbar hygrostat. Kondensationsaggregaten har här den fördelen att vid RF=40-50% är kapaciteten nästan noll och det föreligger därför ingen risk att torka för torrt med dessa aggregat.

5. PRAKTISK TEST AV TORKUTRUSTNING

5.1 Inledning

Utveckling av lämpliga torkningsutrustningar samt instruktioner till dessa hörde till ett av forskningsprojektets tre målsättningar. Arbetet med detta skulle bedrivas på två sätt, dels genom laboratorieförsök med avfuktningssaggregat, dels genom praktiska tester. Denna delrapport behandlar sålunda det sistnämnda.

5.2 Försöksprogram

Syftet med praktiska tester var att jämföra tre olika principer för uttorkning. Den princip, vilken vi kan kalla nr 1, var den traditionella, dvs uppvärmning av inneluften så att dess förmåga att innehålla fukt ökades och därefter en utventilering av den fuktiga och varma inneluften.

Princip nr 2 består i att man kyler inneluften i ett kylbatteri varvid fukten kondenseras bort. Därefter återuppvärms luften till ursprungstemperaturen och får, sålunda torkad, gå ut i rummet för att suga upp fukt igen.

Princip nr 3 går kortfattat ut på att man tar in uteluften och avfuktar denna. Därefter blåses den torra luften in i lokalen och tar upp fukt från de fuktiga materialen. Den fuktiga luften blåses därefter ut. Metoden kräver alltså ett insug och ett utblås, vilka lämpligen ordnas med rör genomgångar i en fönsterskiva eller dyl.

Vid granskning av försöksresultaten visade det sig att fukt-tillståndet dvs relativa luftfuktigheten i betongplattan hade utvecklats sig i stort sett lika för alla provhus under försöksperioden. Med andra ord hade uttorkningen fortskridit ungefär lika långt i samtliga provhus.

Beträffande energiförbrukningen erhöles varierande resultat. I de försök som omfattar hustyp A hade Fricoaggregatet den lägsta energiförbrukningen och motsvarande för hustyp B var Merx och Munther M600 med lika resultat för båda. Det skall påpekas att husens inomhusklimat var i stort sett lika under försöksperioden och att ingen annan värmekälla än torkaggregaten användes för uppvärmning.

Det föreligger dock en del osäkerhet i de resultat som erhöles vad gäller energiförbrukningen på grund av att även andra elektriska apparater kopplats in på torkaggregatens trefasmätare, utan försöksledningens kännedom.

Hur som helst har inget här framkommit som entydigt pekar på att avfuktare förbrukar mindre energi än aerotemper vid samma inomhusklimat.

Försöksprogrammets omfattning beskrivs i tabell 5.1

Område	Hustyp	Boyta(m ²)	Torkprincip	Aggregat	Märkeffekt
Eneby Gård	A	94	1	FRICO	10 kW
" "	A	94	2	MERX defuktor	9,8 kW
" "	A	94	3	MUNTHER M200	1,8 kW
" "	B	137	1	FRICO	10 kW
" "	B	137	2	MERX defuktor	9,8 kW
" "	B	137	3	*MUNTHER M600	5,4 kW

* Här kompletterades torkaggregatet med en kondensor, dvs man kondenserade den fuktiga luften istället för att blåsa ut den, därigenom kunde man undvara de båda rör genomgångarna.

Tabell 5.1. Försöksprogrammets omfattning.

5.3 Beskrivning av försök samt försöksresultat

Nackdelen med den traditionella torkmetoden är att man får stora energiförluster då man vädrar ut den uppvärmda inneluften. De två andra här beskrivna torkprinciperna har inte den nackdelen. En av mätvariablerna var således energiförbrukningen hos de olika aggregaten. Denna mättes med trefasmätare direkt på apparatens strömtillförsel.

Om man mäter energiförbrukningen samt sammanställer hyreskostnaderna för de olika torkaggregaten, kan man jämföra totalkostnaderna aggregaten emellan. För att kunna göra en totalbedömning måste man även mäta torkeffekten. Denna uppmättes genom bestämning av fukttillståndet. Relativa fuktigheten och temperaturen inomhus mättes varje dag med hygrometer och termometer i rummet.

5.4 Sammanfattning

De försök som utförts har inte på något entydigt sätt visat att avfuktningssaggregat skulle ge bättre uttorkningsresultat än traditionella metoder. Vad beträffar skillnaden i energiförbrukning kan inga säkra slutsatser dras, vilket har framgått tidigare. Teoretiskt sett skall dock energiförbrukningen bli mindre med avfuktningssaggregat om förutsättningarna är de rätta. Den minskade energiförbrukningen skall emellertid vägas mot den högre hyreskostnaden för avfuktningssaggregat, se tabell 5.2.

Aggregat	Hyreskostnad kr/byggdag enl SBEF (1978)
FRICO (aerotemper)	3:50
MERX defuktor	37:-
MUNThER M200	25:-
MUNThER M600	42:-

Tabell 5.2

Även om det vid detta försök har visat sig att användning av avfuktningssaggregat inte givit några fördelar gentemot traditionella metoder, finns det situationer då de kan visa sig användbara. Den enda byggfuktkälla som har existerat i detta försök är betongplattan. Om t ex även stommen hade utförts i betong eller lättbetong, hade säkert en avfuktare kommit till större användning. Vid andra tillfällen kanske man är låst av tidplanen m.m. så att tiden för byggtorkning blir för knapp med traditionell metod. I ett sådant läge är förmodligen en avfuktare det enda alternativet. Då avfuktare används är det, som framgår tidigare, viktigt att man styr torkningen och torkklimatet så att ett optimalt resultat erhålls.

Vid speciellt småhusproduktion är det väsentligt att maskiner och utrustningar är lätthanterliga och praktiska. De avfuktningss-
aggregat som använts i denna undersökning uppfyller tyvärr ej
dessa krav. Orsaken till detta var att de var för stora och tunga
och krävde för många anslutningar.

En annan nackdel med dessa aggregat är att vissa saknar eller
har otillräcklig värmetillförsel, vilket medför att man ofta
får komplettera med en aerotemper.

En sammanfattning av de faktorer som framkommit i denna under-
sökning skulle sålunda få följande utseende:

- Avfuktningssaggregat ger ej bättre uttorkning än traditionella
torkmetoder med samma torktid och det torkklimat som existerat
vid denna undersökning.
- Eftersom avfuktningssaggregat kostar mer i hyra per byggdag än
en aerotemper, måste de ge ett bättre uttorkningsresultat eller
en lägre energiförbrukning för att bli ekonomiskt lönsamma. Att
så skulle vara fallet har inte kunnat redovisas i denna under-
sökning.
- När avfuktningssaggregat används är det väsentligt att tork-
klimatet blir det rätta samt att antalet luftomsättningar
blir så få som möjligt. Det har i denna undersökning, med de re-
surser som har stått till buds, visat sig vara svårt att styra
uttorkningen så att ovanstående två grundförutsättningar upp-
fyllts.
- Förmodligen är mängden byggfukt för liten i småhus med trä-
stomme på betongbjälklag för att avfuktare skall bli lönsamma.
De har säkert större användningsområde där uttorkning av be-
tong är en aktivitet som ligger på kritiska linjen i tidplanen.
- Avfuktarna måste göras mer lätthanterliga och praktiska för
att kunna accepteras av arbetsplatsens personal.

6. EKONOMI OCH ALTERNATIV

Vid en analys av den ekonomiska sidan för begreppet byggtorkning ingår som första del en redovisning av de nuvarande kostnaderna. Sålunda kan olika metoder beskrivas:

- byggtorkning med elektriska s k aerotemperar
- byggtorkning med oljeeldade byggtorkar
- byggtorkning med ouppvärmad ventilationsluft
- byggtorkning med husets ordinarie uppvärmningssystem

De ovan angivna metoderna kombineras ofta. Att beräkna kostnadskillnader för dessa metoder eller kombinationer av metoder är komplicerat. Emellertid kan vissa kostnadsdelar iakttagas:

- a) hyror för maskiner
- b) energiförbrukningen
- c) installation i huset
- d) räntekostnader under uttorkningstiden.

a) Hyrer för maskiner

Kostnaden beräknas för antalet byggdagar som maskinerna erfordrar. Antalet byggdagar varierar med årstiden då uttorkningen skall utföras. Det geografiska läget påverkar även uttorkningstiden. Dessutom kan frågan om utnyttjning av det s k vinterbidraget påverka när start av uttorkning kan börja.

Hyran för 1 st aerotemper är enligt SBEF:s maskinlista juli 77 5:85 per byggdag 10-15 kW effekt. En byggtork som är oljeeldad med en värmeeffekt på 35-50 kW och ett luftflöde på 1000-2000 m³/h kostar i hyra SBEF juli 77 28:08 per byggdag.

b) Energiförbrukningen

Elförbrukning kan uppskattas genom att mäta den s k byggströmmen för hela bygget. Därefter görs en beräkning av hur stor del som ligger på byggtorkning.

Oljeförbrukningen för byggtork varierar med årstiderna och inställningen på maskinen. När den går för fullt på vintern åtgår omkring 1 fat olja per dygn.

c) Installation i huset

Aerotemper är enkel att installera i huset. Allt som erfordras är el-uttag och elkabel.

Byggtorken som drivs med olja förutom el utrustas med avgasrör. Ofta ställs byggtorken upp utanför småhus. På grund av oljebrännaren och fatutställning m.m. fordrar byggtorken mycket passning. I norra Sverige används byggtorkarna på småhusbyggen i större utsträckning än i södra Sverige, vilket beror på att det där ställs krav på is- och snösmältning.

d) Räntekostnader under uttorkningstiden

Räntekostnaderna under uttorkningstiden är beroende på i vilken utsträckning som uttorkningen påverkar byggtiden.

För ett småhus är möjligheterna att påverka räntekostnaden ganska begränsade.

X = antalet byggdagar som bygget kan kortas

P = internränta

K_M = medelvärde för nedlagda kostnader från det att byggtorkningen börjar till dess att den slutar.

R = räntekostnaden

$R = \frac{x}{360} \times p \times K_M$

6.1 Byggtorkning med bl a elektriska aerotemperar

De värden som redovisas är hämtade från några villabyggen i södra och mellersta Sverige.

Nr Område	Alternativ fabrikat	Maskinhyra per hus	Energi kostn per hus	Total kostn per hus	Uttorkningstid byggdgr.	Årstid för uttorkning
1 Märsta	FRICO 5-10 kW radiatorer	40 0	254 79	373	75	vår sommar 75
2 Lund	Radiatorer	0	530	530	80	genomsnitt 76
3 Nyköping	SEVE SELFA olja 5-15 kW	530	1500	2030	45	vintern 76
4 Danderyd	FRICO olja radiator	100	1000	1100	55	genomsnitt 76-77

Tabell 6.1. Exempel på kostnader för uttorkning enligt den nu vanliga metoden som oftast är en kombination av oljeeldade byggtorkar, aerotemperar och husets eget uppvärmningssystem.

I det första fallet, bygget i Märsta, har två slags uttorkning använts, dels aerotemperar och dels husets eget uppvärmningssystem. Det bör observeras att priserna är från 1975 för detta bygge.

Tiden mellan start uttorkning med aerotemper till dess eget värmsystem påkopplades är 60 byggdagar. Den totala tiden för uttorkning i tät stomme är 75 byggdagar. Den angivna siffran för hyra och energi förefaller ganska låg och innebär att det under viss tid ej förekommit någon uttorkning med aerotemper utan man har ventilerat med uteluften. Detta bygge hade inga kostnader för borttagning av is på plattan.

Totala kostnaden per hus är låg och får nog betraktas som ett undre gränsvärde för uttorkningskostnaden i ett småhus. Radiatorerna var påsatta i 15 dagar och kostnaden för detta beräknades till kr 79 , vilket ger en kostnad på kr 5:26 per dag eller motsvarande 48 kWh energi. Värdet på energiåtgången förefaller lågt, jämför beräknade kostnader för bygget i Lund.

Det andra bygget som anges i tabell 6.1 är från Lund. De klimatiska förhållandena är mildare än i Stockholmsområdet. Aerotemperar har ej använts. Kostnaden för elenergi från radiatorerna har beräknats till kr 530. Radiatorerna var påkopplade i 45 dagar. Kostnaden per dag kr 8:15 vilket ger ett energiuttag på c:a 70 kWh per dag i genomsnitt.

Det tredje bygget i tabell 6.1 redovisar en total kostnad på 2.030:- per hus, vilket är avsevärt högre än för de två andra byggena.

Husets egen värme har ej använts i stor utsträckning utan i stället aerotemperar. Kostnaden för energi har här varit högre. Den mest intressanta skillnaden är att torktiden varit kortare och att kraftigare aerotemperar använts. Torktiden har varit 45 byggdagar och hyreskostnaden för utrustningen ungefär kr 12 per byggdag. Uttorkningen utfördes enbart under vintern.

Det fjärde bygget i Danderyd har erhållit värden på kostnader under flera års kostnadsuppföljning. I kostnadsvärdena ingår även plattor där det erfordras oljeeldade byggtorkar för att ta bort is. Detta är nödvändigt speciellt kalla vintrar. De plattor som berörs drar då 3/4-1 fat olja per st. (Ett fat c:a 200 l).

Den genomsnittliga elenergiförbrukningen är 60-75 kWh per dag och hus. Byggtakten var ett hus varannan byggdag och omloppstiden för ett hus c:a 14 veckor.

Slutsatsen av de här tre byggenas kostnader visar att uttorkningskostnaden i 1976 års priser ligger mellan 400 och 2000 kronor per småhus om man bara tar hänsyn till energikostnad och hyreskostnad. Dessa två kostnadsposter ökar också om man vill avkorta uttorkningstiden.

6.2 Byggtorkning med oljeeldade aggregat

Att utföra uttorkning med enbart oljeeldade aggregat blir med all säkerhet dyrare både ur energisynpunkt och hyressynpunkt. Dessutom tillkommer service och skötsel.

6.3 Byggtorkning med enbart ventilation och permanent elupp- värmningssystem

Att låta uttorkning ske enbart medelst ventilation är förmodligen det mest ekonomiska alternativet under torra klimatförhållanden. Något exempel har vi inte på denna metod. Antagligen blir uttorkningstiden för lång för att passa in i byggets övriga aktiviteter kanske mer än 100 dagar. Dessutom ställs krav på att husen kan stå med öppna fönster samt att kontrollen utökas. Bygge nr 2 har dock använt en metod utan aerotemperar under hela uttorkningsskedet. Det permanenta eluppvärmningssystemet har snabbt kunnat kopplas in.

Det kan snarare vara angeläget att förkorta omloppstiden för ett hus. Följaktligen måste torktiden minskas. Vid extremt kort omloppstid kan det finnas vinster att göra genom minskade räntekostnader.

Om uttorkningsmetoden i det ena fallet är 50 dagar längre än i det andra och dessa i sin tur förlänger byggtiden lika mycket så blir den extra räntekostnaden omkring 3.000:-. Emellertid är det inte så enkelt att en längre uttorkningstid förlänger byggtiden lika mycket som den extra torktiden. Tiden beror nämligen till stor del på vilka resurser som kan sättas in vid golvbeläggning. Tidpunkt då husets ordinarie värme kan påkopplas är även en betydelse.

Ett sätt att studera vad som händer är att jämföra tidplanen från småhusbygget och senarelägga golvläggningen, upprita en ny tidplan och beräkna den nya kalendertiden. Därefter jämförs de två olika kostnadskurvorna och räntan beräknas.

6.4 Alternativa metoder för uttorkning (avfuktare)

Vid serieproduktion av småhus bestäms uttorkningstiden av ett flertal olika faktorer

- byggtakten
- omloppstiden
- inflyttningar
- vinterbidrag

Detta gör att en förändring av uttorkningstiden ej kan tjäna som utgångspunkt för att minska kostnader. Dock är det viktigt att välja rätt metod för uttorkning. När man har styckehusproduktion är det viktigt att få så snabb byggtid som möjligt. Det är då viktigt att använda en torkmetod som torkar snabbt. Torktiden kan med all säkerhet nedbringas till c:a 40 dagar. Mätning av fuktförhållandena är då speciellt viktigt eftersom torktiden är kort.

Vid serieproduktion kan torktiden variera ganska mycket. Om man har lång torktid till sitt förfogande (75-80 dagar) finns ingen anledning att ha torkutrustning som torkar snabbt. Arbetstemperaturen inne i huset kan då sättas lägre. Termostatreglering eller annan reglering kan då minska energiförbrukningen. Vid kortare omloppstider där torktiden ligger omkring 50 dagar måste emellertid torkutrustningen torka relativt snabbt.

Ett sätt att minska energiåtgången kan vara att använda avfuktningsslaggregat i stället för aerotemperar då antalet luftomsättningar är få. Dessa avfuktningsslaggregat skall då ha god verkningsgrad även vid lägre temperaturer +10-15°C.

De resultat som vi erhållit i samband med experiment med avfuktningsslaggregat har emellertid ej gett så stor inbesparing i energi beroende på:

- svårigheter att styra metoden
- för kort omloppstid på bygget där metoden studerades.

I vilket fall som helst torde viss extra tillsyn behövas. Denna är emellertid liten i jämförelse med den tillsyn som erfordras vid enbart ventilation om denna skall göras med tillräcklig effekt och utan alltför stora energiförluster.

För att få en uppfattning om vilken kostnadsskillnad det är mellan att använda ventilation eller avfuktning tas följande exempel:

Förutsättningar:

Klimat: Inne +20°C 60% RF Ute +5°C 90% RF

Byggnadsvolym/omslutningsyta: 300m³/350m²

Genomsnittligt k-värde: 0,5W/m².K

Erforderlig torkkapacitet: 1.2ℓ/h

Hyra per byggdag: elärotemper 3:50 (1978)

avfuktare 35:-

Energipris: 20 öre per kWh (1978)

Antal oms/h vid användning av avfuktare: 0,3

Ventilation:

Optimal ventilation för att ge 1,2ℓ/h är c:a 1 oms/h

Energiförlusten av förlorad ångbildningsvärme 0,87 kWh/h och uppvärmning av ventilationsluft 1,62 kWh/h blir tillsammans c:a 2,5 kWh/h d v s 60 kWh per dygn, kostnad 12:- per dygn.

Transmissionsförlusterna uppgår till c:a 60 kWh per dygn, kostnad 12:- .

Om ventilationen blir mindre än den optimala, sjunker torkeffekten och rumsluftens relativa fuktighet stiger vilket måste undvikas. Ventilationen kan härvid bli för stor t.ex. 2 oms/h vilket visserligen sänker fuktigheten i lokalen men också medför större energiförluster, c:a 100 kWh/dygn till en kostnad av 20:- per dygn.

Byggtorkning + värme kan sålunda sammanfattas:

Transmissionsförlusten ~ 60 kWh/dygn	12:- /dygn
Ventilationsförluster	
optimalt n= 1 oms/h ~60 kWh/dygn	12:- /dygn
för stor, n=2 oms/h~100 kWh/dygn	20:- /dygn
Hyreskostnad	3:50/dygn
Totalkostnad optimalt (120kWh/dygn)	27:50/dygn
" för stor vent. (160 kWh/dygn)	35:50/dygn

Avfuktning

Om den ofrivilliga ventilationen nedbringats till 0,3 oms/h ventileras c:a 0,4ℓ/h bort, resten måste avfuktaren ta hand om, vilket innebär att bara en liten del av dess kapacitet utnyttjas alternativt sjunker fuktigheten i luften. Energiförlusterna uppgår till 0,26+0,49 kWh/h d v s c:a 18 kWh per dygn till en kostnad av 3:60:- per dygn.

För avfuktning gäller i detta exempel:

Transmissionsförluster	~ 60 kWh/dygn	12:-/dygn
Ventilationsförluster	~ 18 kWh/dygn	3:60:-/dygn
Hyreskostnad		35:-/dygn
Totalkostnad	(~80 kWh/dygn)	50:60:-/dygn

Av detta enkla exempel framgår klart att med dagens energipris är det klart dyrare att använda avfuktare vid byggtorkning p g a av att energivinsten inte uppväger den större hyreskostnaden om man bara ser till de direkta kostnaderna. Den större tillsyn som behövs vid torkning med ventilation + värme för att erforderlig torkning skall äga rum, medför emellertid större arbetskostnader, vilka är svåra att uppskatta.

Emellertid är det helt klart att energi kan sparas genom avfuktning i stället för ventilation, i ovanstående exempel minskas ventilationsförlusten till mellan en femtedel och en tredjedel.

7. REFERENSER

- Adamson et al, 1970, Byggnadstekniska fuktproblem.
(Statens råd för byggnadsforskning) Stockholm.
Programskrift 12.
- Anonym, 1974, Drying out buildings. (Building research establishment) Garston, Watford. Digest 163.
- Buseth, R, 1971, Fukt i byggnader - uttorkning. Lättbetong 13, 1971:1.
- Gustavsson, B, 1973, Uttorkning av betongplatta på mark. (BPA-Riksbyggen) Stockholm. Byggteknisk information 1973.
- Hildingsson, O,
& Holmgren, S, 1976, Byggnadens lufttäthet. Undersökning och utveckling av mätmetoder. Rapport X4:76, Institutionen för Byggnadsteknik, Lunds Tekniska Högskola, Lund.
- Krischer, O, 1963, Die wissenschaftlichen Grundlagen der Trocknungstechnik. (Springer Verlag) Berlin.
- Nilsson, L-O, 1977, Fuktproblem vid betonggolv. (Avd. f BML, LTH) Lund. Rapport TVBM-3002. 1977.
- Vinberg, H, 1957, Vinterbygge - några arbetsmetoder och hjälpanordningar. (Statens nämnd för byggnadsforskning) Stockholm. Rapport 43.

