SLUTRAPPORT 811687-3/25s AIC 770
1220

ANKOM
1 DEC. 1982

BESTÄMNING AV RADONTRANSPORT FRÅN MARK TILL BYGGNAD

Veikko Wallin

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 811687-3 från Statens råd för byggnadsforskning till Tyréns Företagsgrupp AB

INNEHÅLLSFÖRTECKNING:

Sammanfattning 5

Bakgrund 5

Hur kommer radonet in i byggnader 5

Luftläckage genom bottenplatta 6

Förberedelser till provet 6

Utförande av provet 9

Resultat av provet 13

Slutkommentar 14

BILAGOR:

1 MÄTNING AV LUFTGENOMSLÄPPLIGHET

2 BERÄKNING AV LUFTOMSÄTTNING

3 BERÄKNING AV UTSPÄDNING

4 UNDERTRYCKSGRUND

5 ÖVERTRYCKSGRUND

BESTÄMNING AV RADONTRANSPORT FRÅN MARK TILL BYGGNAD

Sammanfattning

Syftet med forskningsprojektet var att testa en mätmetod med vars hjälp radontransport från mark till byggnad kan beräknas. Som provobjekt valdes en villa som är grundlagd med platta på mark på grusås. Vi lyckades med flödesmätningar bestämma tryck-flödeskurvan både förbottenplattan och marken under byggnaden. Med hjälp av systemanalys kunde vi sedan beräkna luftflöden från mark till byggnad vid godtyckliga klimatiska och installationstekniska förhållanden. Den åtgärden vi föreslår - luftkudde under bottenplattan mot radoninträngning - har stora fördelar men är högst okonventionell och hade inte kunnat föreslås om inte byggnadens och markens fysikaliska egenskaper varit kända.

Bakgrund

Det pågår en intensiv forskning beträffande radonaktivitet i mark. Resultaten, som i början var något förbryllande, ger allt klarare bild av problemets omfattning. Man vet att merparten av bostadsbeståndet ligger inom områden där radon kan förekomma i mycket varierande omfattning.

Radon bildas i all material som innehåller grundämnet uran -238 och den totalt bildade mängden beror enbart på uranhalten. Materialkvaliteter och markförhållanden i sin tur bestämmer hur stor del av radonet som kommer in i markluften och dess vidare rörelser i denna.

En del av radontransporten i marken sker via diffusion, men sannolikt är den konvektiva transporten av större betydelse. Många berg- och jordarter är så luftgenomsläppliga att radonet kan röra sig långa sträckor innan halten reduceras nämnvärt till radondöttrar. Med tanke på grundproblemet - radon i inomhusluften - är dock frågorna hur radonet bildas och transporteras i mark av sekundär betydelse för denna utredning. Det viktigaste är att veta hur mycket radon markluften innehåller och hur stora luftflöden från mark till byggnad som kan vara aktuella.

Hur kommer radonet in i byggnaden

Allt stenbaserat byggnadsmaterial innehåller uran, men det är bara skifferbaserad lättbetong som kan resultera i högre radonhalt än tillåtna gränsvärden. Om gränsvärdena trots allt överskrids är radon från mark normalt orsaken till detta. Även denna radontransport

sker antingen via diffusion eller konvektion genom grundkonstruktionerna. På grund av att de byggnadsmaterial, vilka normalt används i konstruktioner mot mark, är relativt diffusionstäta hinner stor del av radonet sönderfalla innan det har passerat materialet. Konvektionen däremot har även här större betydelse. Vanligtvis är grundkonstruktioner inte helt täta och då det normalt råder undertryck i husen, kan markluft sugas in i byggnaden. Vid höga halter radon i markluften behövs mycket små flöden genom bottenkonstruktionen för att acceptabla värden skall överskridas.

Luftläckage genom bottenplatta

Vid bestämning av läckage genom bottenkonstruktion måste hänsyn tas till både markens och byggnadens fysikaliska egenskaper. I vanliga fall, när byggnadens täthetsförhållanden undersöks, antar man att golvet är tätt i förhållande till huset i övrigt. Detta antagande ger normalt tillräcklig noggrannhet för luftläckageberäkningar, då felet i summaflödena oftast är större än flödet genom bottenkonstruktionen. Som ovan nämnts kan dock små läckage resultera i höga radonhalter i inomhusluften och man måste därför ställa större krav på mätningar av läckage genom bottenplattan.

Syftet med forskningsuppgiften var att

- undersöka möjligheter att mäta bottenplattans och markens täthetskarakteristika
- utvidga den systemanalys som utvecklats hos TYRENS till att även omfatta bottenplattan och marken,
- beräkna flöden av markluft in i byggnaden
- beräkna hur olika åtgärder påverkar radonhalten inomhus,
- föreslå en tekniskt, ekonomiskt optimal lösning.

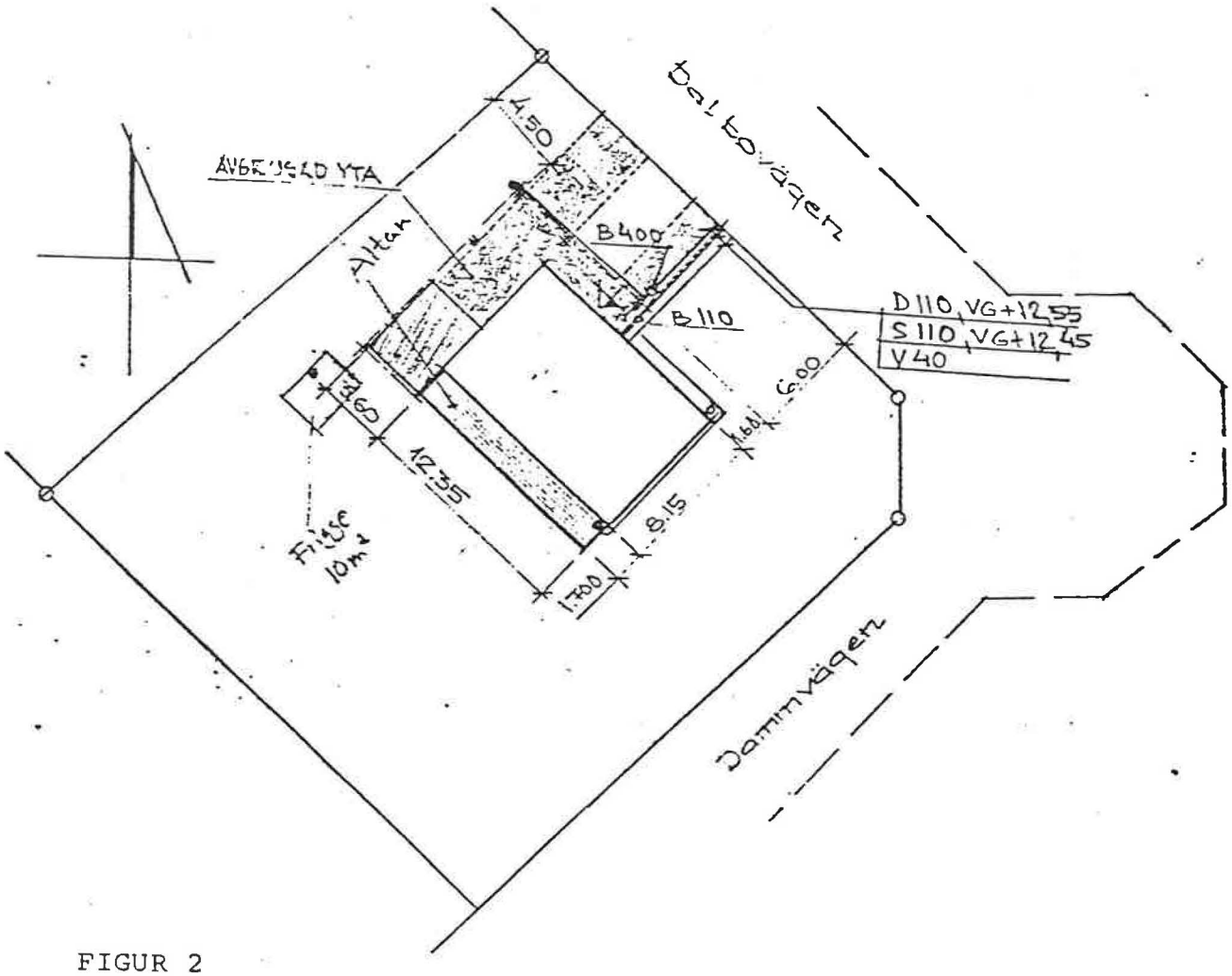
Förberedelser till provet

Villan

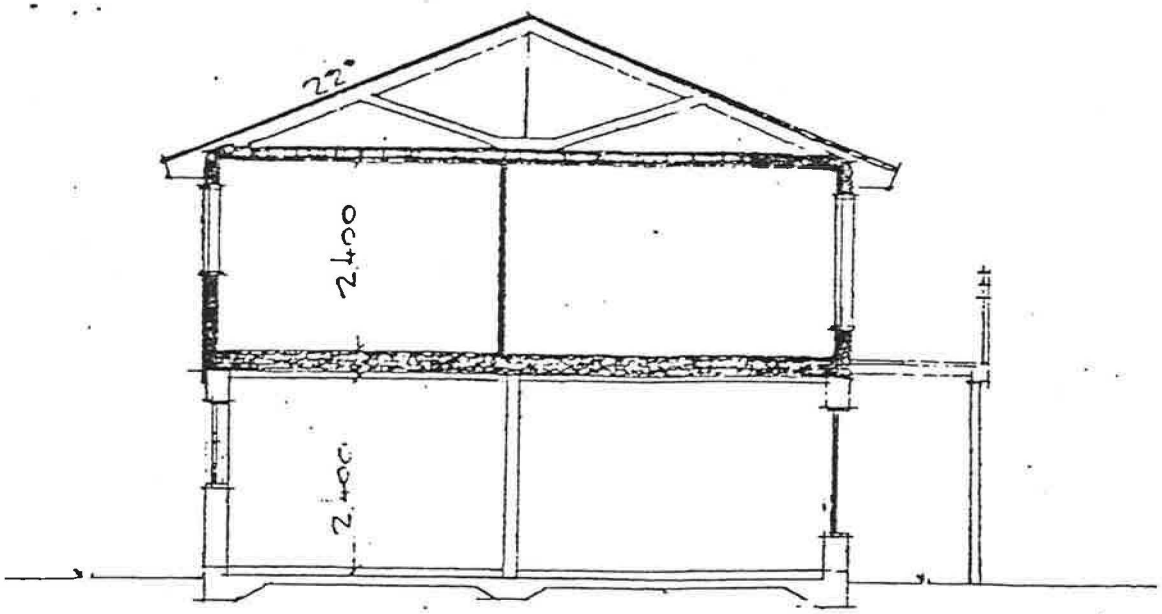
Som försöksprojekt valdes en enfamiljs villa i Sollentuna kommun enligt FIGUR 1 - 4 samt enligt BILD 1.

Villan är en tvåvåningsbyggnad med bostäder i båda planen. Byggnaden är grundlagd på platta på mark och innehåller inte s k blå lättbetong.

FIGUR 1

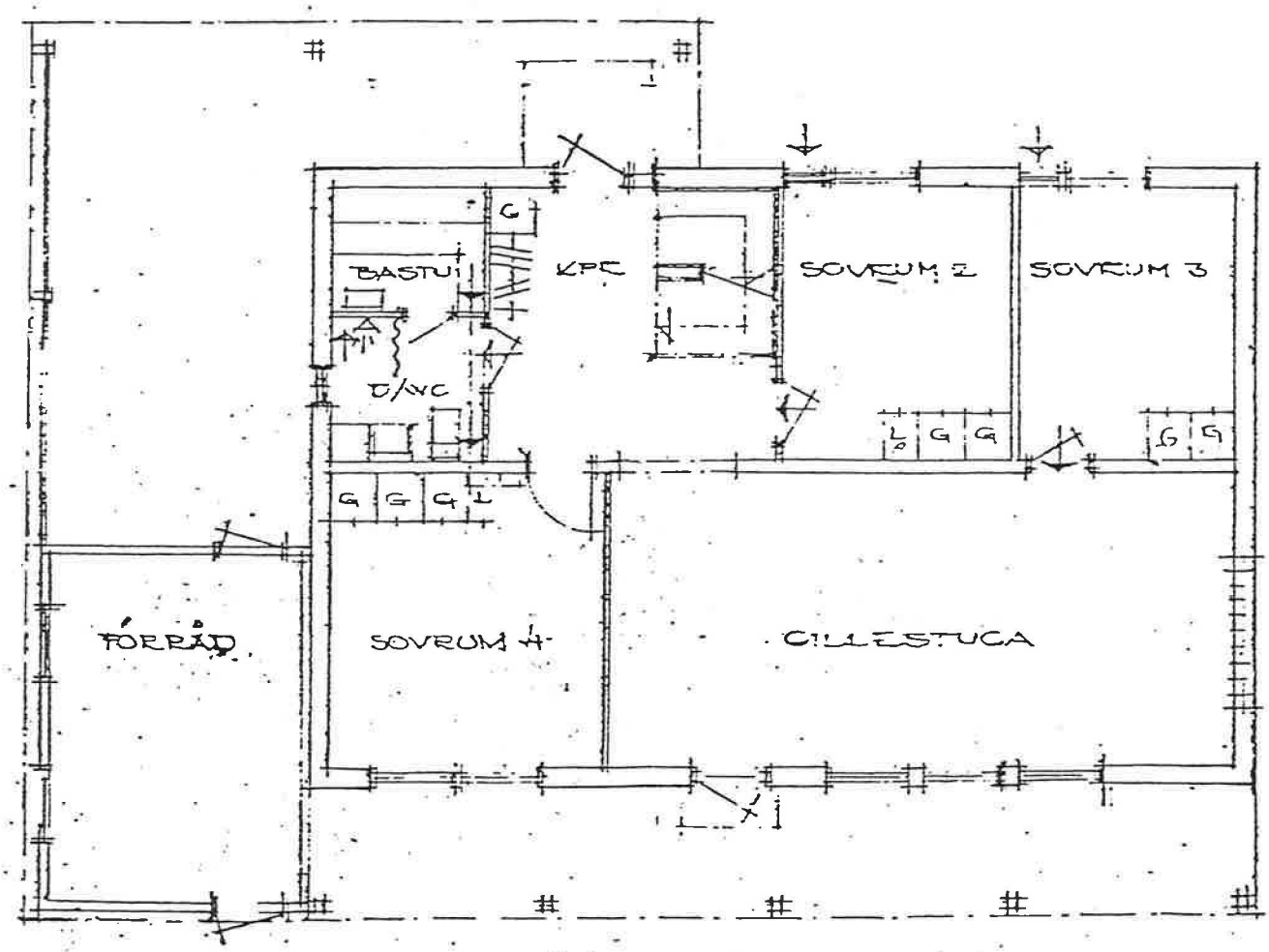


FIGUR 2



SEKTION

FIGUR 3



BOTTENVÅNING

FIGUR 4

Radondotterhalten mätt med spårfilm vintern 1981-82 har gett värdena 1.071 Bq/m3 i bottenplanet och 220 Bq/m3 i övre planet. Uppgifter om klimatiska förhållanden och ventilationsgraden i byggnaden under provet saknas.

Ventilationen är självdrag utan tilluftsventiler. Det är tveksamt om ventilationen med stängda fönster är tillräcklig (0,5 oms).

Jorden under byggnaden är naturligt åsmaterial, huvudsakligen sand med relativt ensorterad kornstorlek.

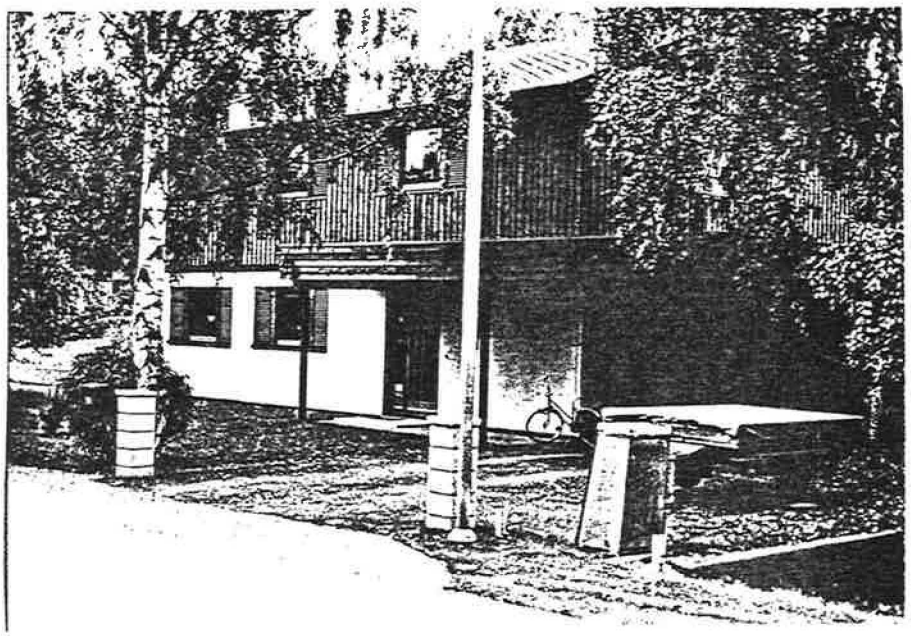


BILD 1

Provutrustning

Provet utfördes med utrustning som normalt används för vanlig tryckprovning kompletterad med erforderliga ventilationskanaler och slangar för luftfördelning under plattan enligt BILDERNA 2 - 7. Vi var helt medvetna om att mätinstrumenten kanske inte hade önskad noggrannhet, men bestämde oss att inte komplettera utrustningen mer än absolut nödvändigt.

Utförandet av provet

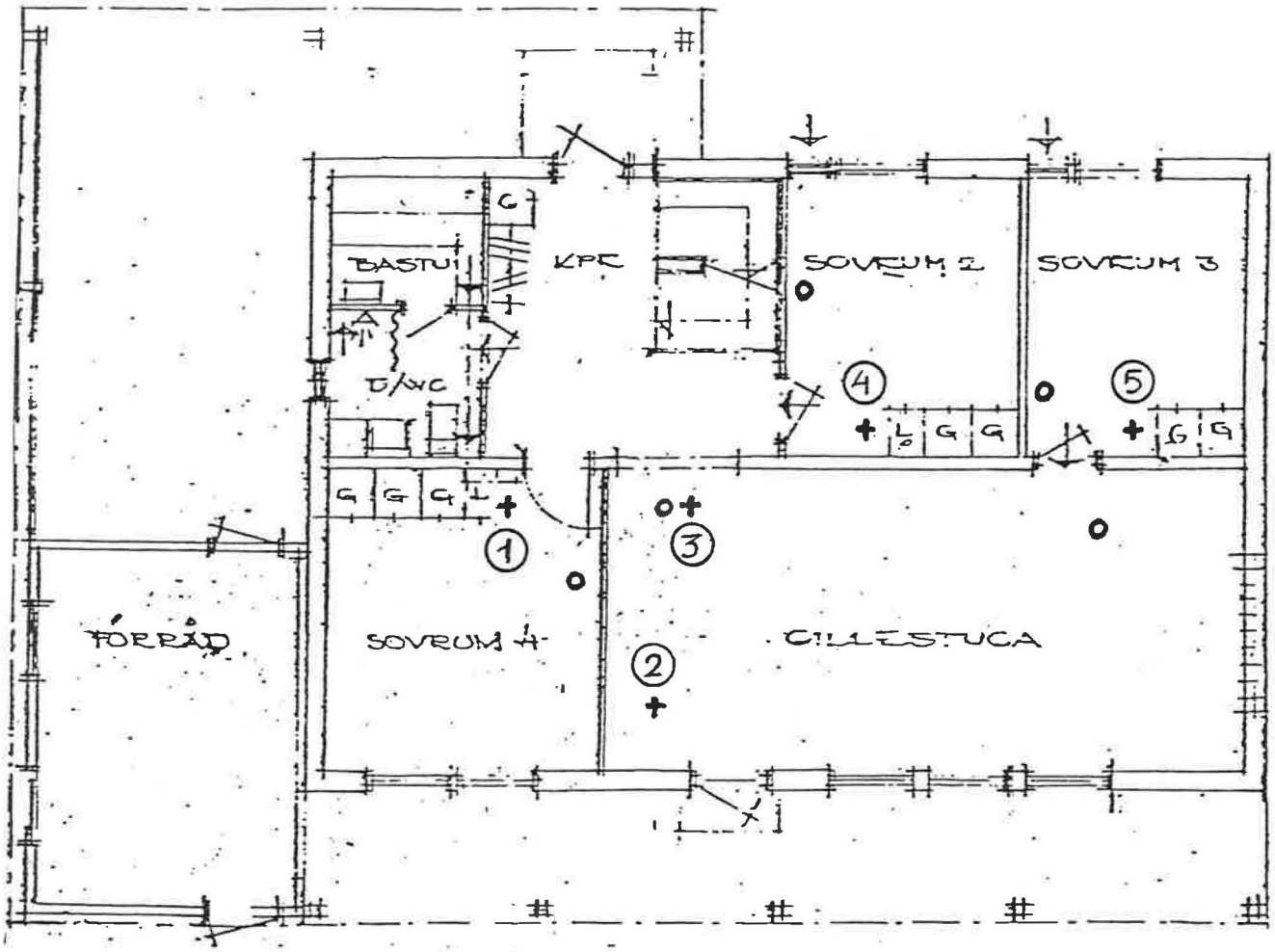
Tre alternativa metoder testades i inledningsskedet. Metoden som gav det mest tillförlitliga resultatet användes sedan i fortsättningen och var i korthet följande:

Installation

1) Huvudfläkt (A) installerades i dörröppningen. Luftflöden som blåstes in i byggnaden mättes med strypflänsrör (BILD 2).

2) Utanför dörröppningen installerades sekundärfläkt (B - BILD 2) med vilken luft blåstes in i utrymmet under betongplattan via fördelningskanal (C - BILD 3) och slangar (D - BILD 4) genom hål och anslutningsflänsar (E - BILD 6) i fem punkter.

3) Tryck mellan ute - inne och mellan inne - mark mättes med vätskemanometrar i fem punkter (F - BILD 7). I FIGUR 5 nedan redovisas inblåsningspunkternas och tryckmätningspunkternas placering.



FIGUR 5 INBLÅSNINGS- OCH MÄTPUNKTERNAS PLACERING

o anger inblåsningspunkt
+ anger tryckmätningspunkt

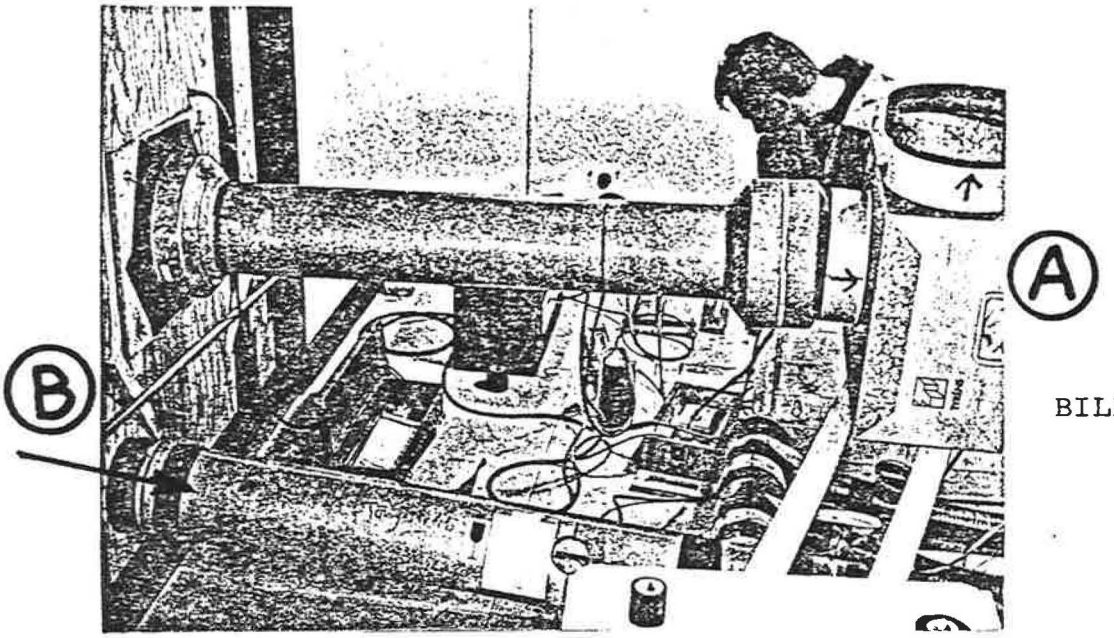


BILD 2

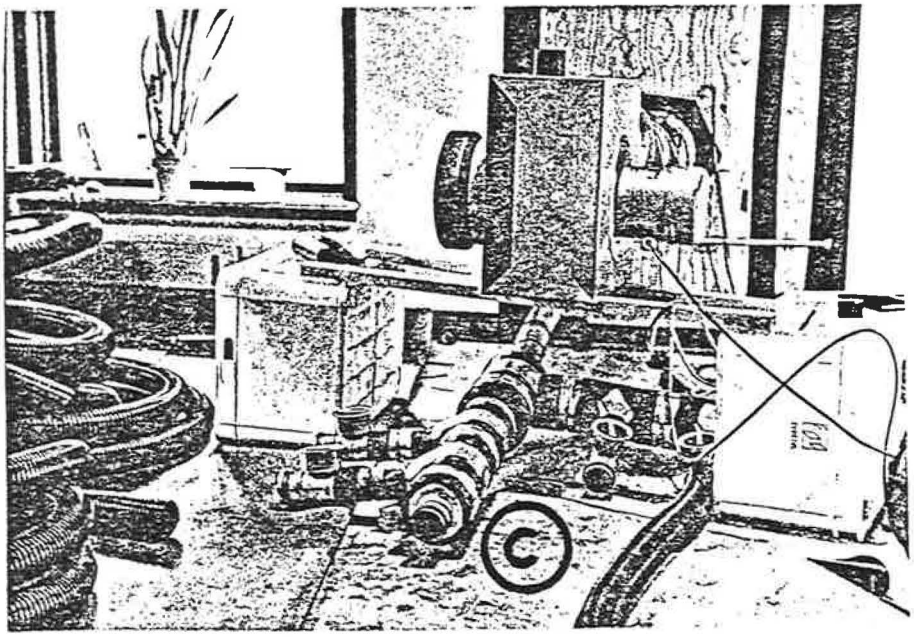


BILD 3

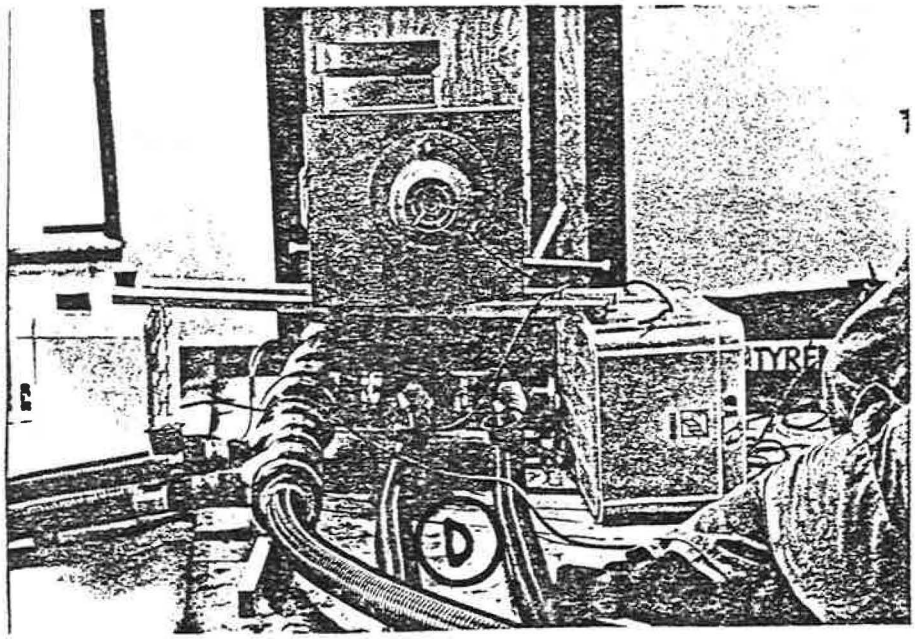


BILD 4

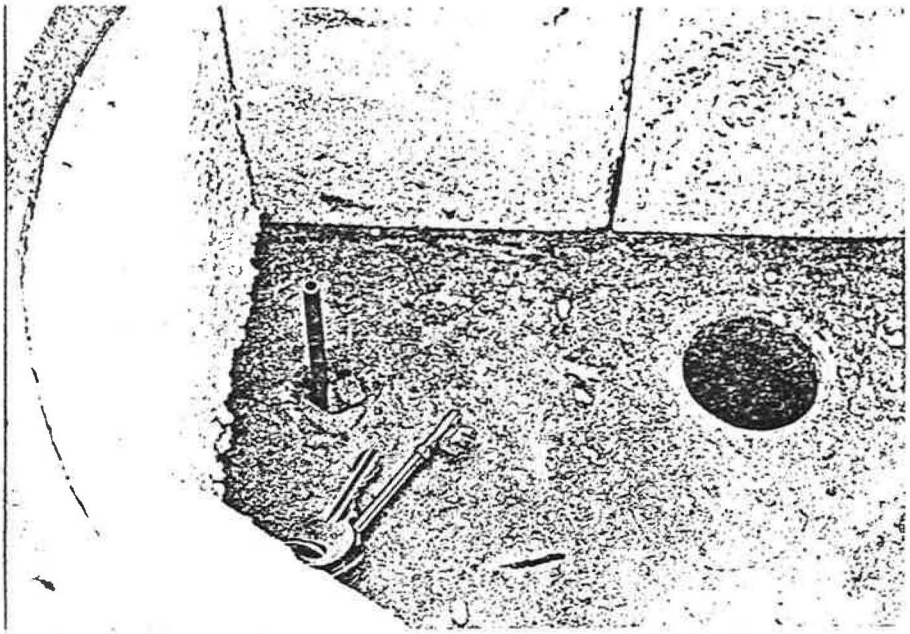


BILD 5

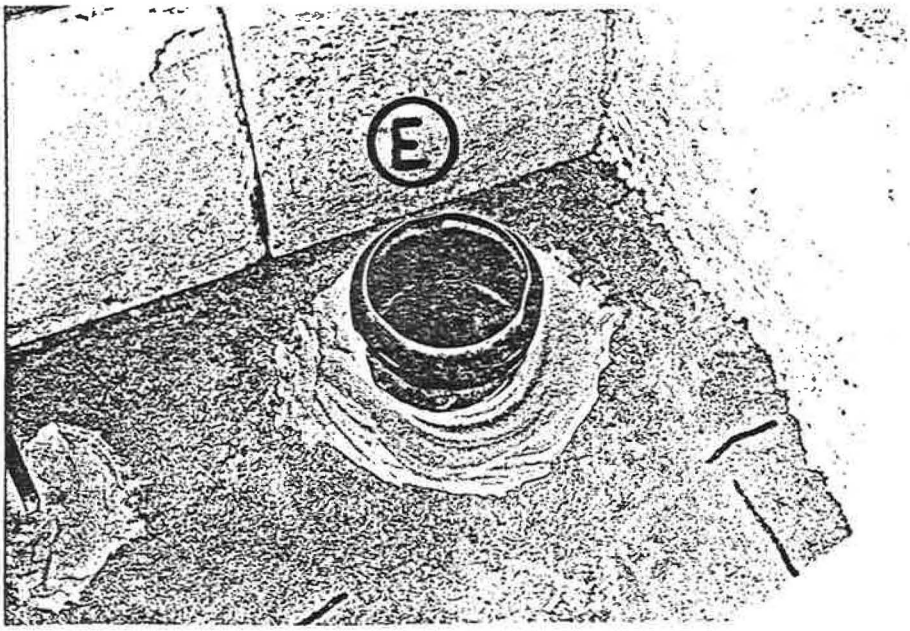


BILD 6

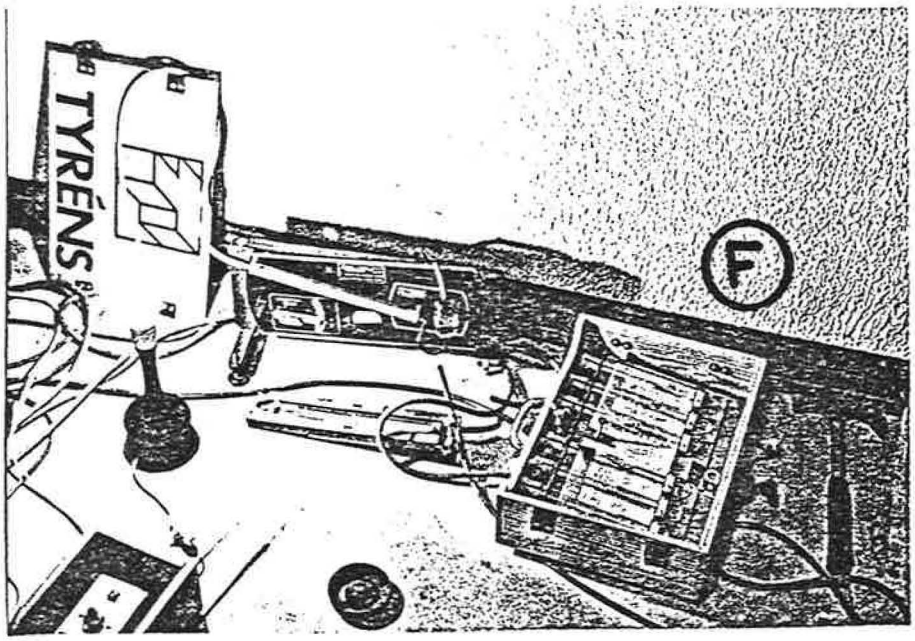


BILD 7

Provet

Alla självdragskanaler och fönster var stängda eller tätade under provet.

1) Tryckprovning av huset utfördes på traditionellt sätt (Q_{tot})

2) Tryck - flödeskurva för mark + platta bestämdes (Q_{m+pl}). Med hjälp av fläkt B blåstes luft under plattan och flödet och tryckskillnaden mark - inne registrerades.

   Det ursprungliga lufttrycket i marken var lika med barometerståndet, varför övertrycket under plattan vid luftinblåsning kunde mätas som ett differenstryck till uteluften.

3) Tryck - flödeskurva för mark bestämdes (Q_m). Med fläkt B blåstes luft under plattan. Med fläkt A blåstes luft in i huset så att tryckskillnaden mark - byggnad hölls nära noll.
   Flödet genom plattan är då noll och hela luftflödet går genom marken.

4) Tryck - flödeskurva för platta (Q_{pl}) bestämdes som skillnaden mellan kurva 2 och 3.

Resultat av provet

Allmänt

Som väntat var mätutrustningen inte helt anpassad för de krav vi ställde. Trots detta var resultaten tillfredsställande i detta speciella fall och visade att metoden kan ge de informationer man behöver för att kunna besluta om åtgärder.

1) Tryck - flödeskurva för hela byggnaden

$$Q_{tot} = 48,45\ (\Delta p)^{0,744}\ m3/h$$

   visar att byggnaden är relativt tät, $n_{50} = 2$ oms/h.

2) Tryck - flödeskurva för mark + platta

$$Q_{m+pl} = 9,966\ (\Delta p)^{0,954}\ m3/h$$

   samt för enbart mark

$$Q_m = 9,652\ (\Delta p)^{0,954}\ m3/h$$

   visar att marken är mycket genomsläpplig och flödeskurvan för plattan

$$Q_{pl} = 0,314\ (\Delta p)^{0,954}\ m3/h$$

   visar att plattan är mycket tät.

Funktionerna är framtagna med linjär regressionsanalys ur värden enligt mätningar 1982-09-14. Ytterligare två kompletta prover utfördes och resultaten var ungefär liknande men stördes delvis av att det naturliga trycket i marken varierade under provet.

Alternativa åtgärder

Följande åtgärder har utretts

- ökning av luftomsättning
- mekanisk evakuerings under platta
- övertryck under platta

I BILAGORNA 3, 4 och 5 redovisas dessa utredningar. Man ser att ökad luftomsättning inte kan reducera radonhalten tillräckligt och är dessutom i detta fall en osäker metod. Mekanisk evakuering under platta i sin tur kan ge byggnadstekniska problem och ökar även driftskostnaderna.

Vi föreslår därför att man blåser en del av avluften till utrymmet under grundplattan. Denna luft, som trycks genom marken, hindrar radontransporten mot byggnaden. De byggnadstekniska åtgärderna blir ganska enkla och driftskostnaderna låga. Samtidigt får man en icke obetydlig värmeåtervinning - varmgrund - som sannolikt kompenserar hela driftskostnaden och en del av investeringskostnaden.

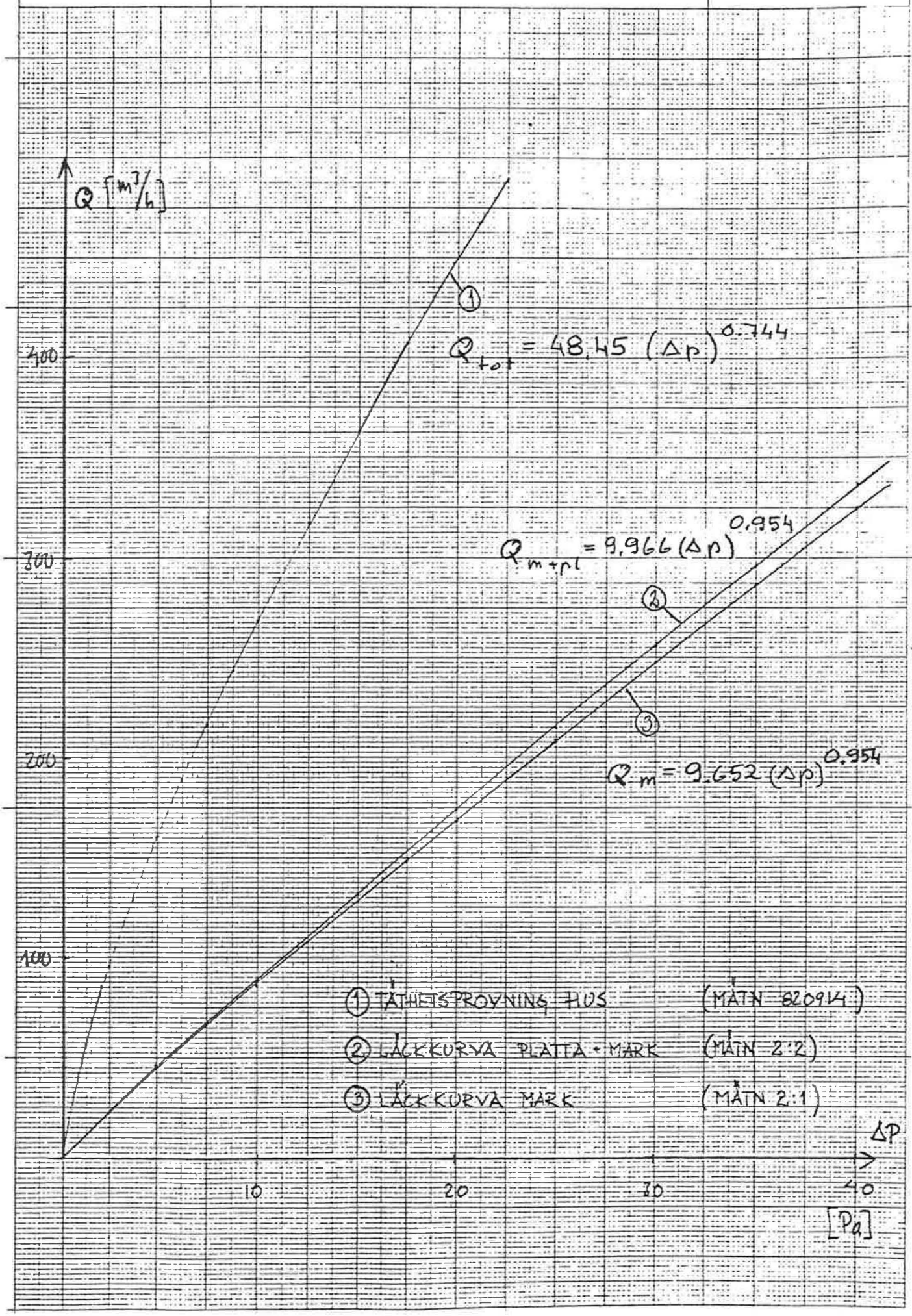
Slutkommentar

I det aktuella projektet lyckades vi mäta flödena med tillräcklig noggrannhet. Mätmetoden visade dock vissa brister som mycket väl kan åtgärdas. Den största störningen var att luftflödena inte var stabila. Vi kunde inte helt säkert avgöra vilken delkomponent som gav dessa störningar, som dock bör kunna elimineras.

Projektets ekonomiska ram gav oss vidare inte möjlighet att undersöka hur många inblåsningsställen som är minimum. De fem vi hade, var sannolikt onödigt många. Fortsatta undersökningar bör dock kunna klarlägga sådana problem.

Den föreslagna åtgärden - övertryck i grunden - är att betrakta som icke konventionell metod med stora fördelar. Det är därför av stor vikt att åtgärden och resultaten dokumenteras noga.

LUFTGENOMSLÄPPLIGHET



SIS 73 25 01 - 514 A4 - 1 x 1 mm
ESSELTE
4441

MÄTN. NR	FLÖDE [m³/h]		TRYCK [Pa]						
	HUS	MARK	VÄGG	PKT 1	PKT 2	PKT 3	PKT 4	PKT 5	MEDEL
1	289	84	10.5	0	-1.0	+1.0	+1.0	0	10.5
2	362	116	14	0	-1.0	+1.5	+1.0	0	14.0
3	362	130	14	0	-1.0	+2.0	+1.5	+1.0	14.4
4	302	96	11	-0.5	-2.0	+2.0	+1.5	0	10.8
5	321	117	13	0	-1.0	+3.0	+2.0	+1.5	13.6
6	378	117	14.5	-2.5	-2.0	+1.5	+1.0	0	13.6
7	378	134	16	-2.0	-2.5	+3.0	+2.0	+1.5	15.8
8	378	134	16	-1.0	-2.5	+3.0	+1.5	0	15.5
9	388	134	17	-0.5	-1.5	+3.0	+2.5	+1.0	17.4
10	393	142	16	+0	-1.0	+3.5	+2.5	+1.5	16.6
11	527	201	25	-1.5	-2.0	+4.0	+2.5	+1.0	25.0
12	681	284	35	-2.5	-3.5	+7.0	+2.5	+2.5	34.8

MÄTNING 2:1 ÖVERTRYCK I HUS OCH GRUND

MÄTNING LÄCKFLÖDE GNM BOTTENPLATTA

ITKEINS

MARKRADON

DATUM 820914

SIGN

SID 2 (4)

MÄTN. NR	FLÖDE [m³/h]		TRYCK [Pa]						
	HUS	MARK	VÄGG	PKT 1	PKT 2	PKT 3	PKT 4	PKT 5	MEDEL
13	764	323	39	-2.5	-3.0	+9.0	+3.5	+3.0	39.25
			SLUT PÅ MÄTNING 2:1						

MÄTNING 2:1 FORTS

MÄTNING LÄCKFLÖDE GNM BOTTENPLATTA

MÄRKRADON

DATUM 82.09/4

SIGN

3 (4)

MÄTN. NR	FLÖDE [m³/h]		TRYCK [Pa]						
	HUS	MÄRK	VÄGG	PKT 1	PKT 2	PKT 3	PKT 4	PKT 5	MEDEL
14		320	0	35	34	47	40	41	37.5
15		406	0	47	46	64	52	48	fel
16		360	0	41	40	54	45	47	43.25
17		312	0	36	34	46	40	40	37.5
18		201	0	22	20.5	27	25	23.5	22.75
19		130	0	15	13	17.5	17	16	15.25
20		65	0	7.0	6.0	10	10	9.0	8.4
21		127	0	14	12	17	15	15	14
22		109	0	11	10.5	15	14	13.5	12.25
23		90	0	10	8	12	12	11	10.25
24		60	0	6.5	5.5	8	9	7.5	7.1
25		67	0	8	6	10	5.5	7.5	6.75

SLUT MÄTNING 2:2

MÄTNING 2:2 ÖVERTRYCK UNDER PLATTAN, ÖPPET I HUSET

MÄTNING LÄCKFLÖDE GNM BOTTENPLATTA

MÄRKRADON

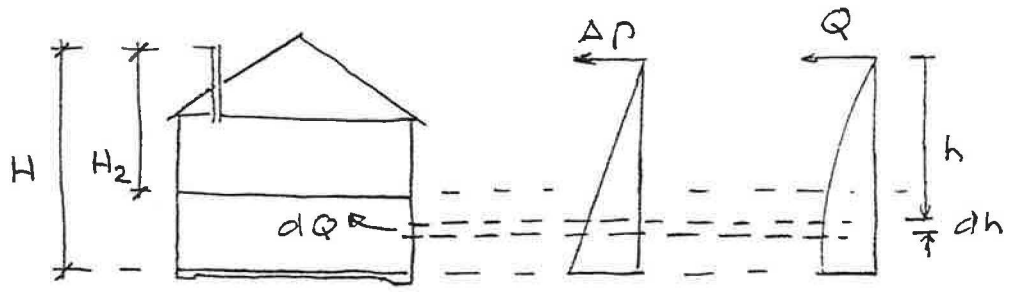
DATUM 820914

SIGN

SID 4 (4)

BERÄKNING AV LUFTOMSÄTTNING

En härledning av det totala läckaget i bottenvåningen under förutsättning att tryckskillnaden som bestämmer läckaget enbart beror på temperaturskillnad ute - inne.



Enligt BILAGA 1 är totala läckaget

$$Q_{tot} = 48,45\ (\Delta p)^{0.744} = k_{tot}\ (\Delta p)^{0.744},$$

k_{tot} är summan av koefficienter för delytorna undervåning, övervåning och tak.

$$k_{tot} = k_u \cdot A_u + k_ö \cdot A_ö + k_t \cdot A_t.$$

Om man antar att väggar i övervåningen är dubbelt så otäta än väggarna i undervåningen och taket blir

$$k_{tot} = k_u\ (A_u + 2\ A_ö + A_t)$$

$$48.45 = k_u\ (98 + 2.98 + 91.6)$$

k_u = 0.126 per m2 väggyta
= 4.94 per höjdmeter

$$dQ = k \cdot (\Delta p)^{\beta} \cdot dh$$

$$\Delta p = C \cdot h \cdot \Delta T$$

$$dQ = k \cdot (C \cdot h \cdot \Delta T)^{\beta} \cdot dh$$

$$Q = k\,(C \cdot \Delta T)^{\beta} \cdot \frac{1}{\beta+1} \int_{H_2}^{H} h^{\beta+1} =$$

$$= k\,(C \cdot \Delta T)^{\beta} \cdot \frac{1}{\beta+1} \left(H^{\beta+1} - H_2^{\beta+1}\right)$$

$C = 0.043$ Pa/m2 ^{o}C

$H = 7{,}0$ m

$H_2 = 4.5$ m

Volym i undervåningen 225 m3.

Uttrycket för det totala luftläckaget i undervåningen med temperaturskillnad som variabel blir då:

$$Q = 4.36 \cdot (\Delta T)^{0.744}$$

Vid temperaturskillnaden $\Delta T = 24^{o}$C erhålls för undervåningen luftläckningen Q = 46.4 m3/h, vilket betyder en luftomsättning av 0.21 oms/h. Den antagna utetemperaturen, -4°C, motsvarar medelvärde under tider (vintern 1981-82) då radonmätningarna utfördes. Observera att läckageberäkningen gäller vid stängda dörrar och fönster och ger därför för låga värden.

BERÄKNING AV UTSPÄDNING

Infiltration i undervåning enligt BILAGA 2

$$Q_u = 4,36 \ (\Delta T)^{0,744}$$

Läckning genom plattan

$$Q_{pl} = 0,314 \ (\Delta p)^{0,954}$$

Enligt förutsättningar i bilaga 2 blir

$$Q_u = 46,4 \text{ m3/h}$$

$$\Delta p = 0.043 \ . \ 24 \ . \ 7 = 7,2 \text{ Pa}$$

$$Q_{pl} = 0.314 \ . \ 7,2^{0.954} = 2.06 \text{ m3/h.}$$

Blandningen av radonren (stämmer inte riktigt) och radonbemängd markluft ger en uppskattning av radondotterhalten i undervåningen. Med tanke på den dåliga luftomsättningn, 0.21 oms/h, antas förhållandet mellan radondotterhalten och radonhalten vara

$$RnD = 0.65 \ Rn$$

Om man betecknar radonhalten i marken med X /Rn/ är radonhalten i bottenvåningen

$$C_{Rn} = \frac{46.4 \ . \ 0 + 2.06 \ . \ X}{46.2 + 2.06} = 4.25 \ . \ X \ . \ 10^{-2} \text{ Bq/m3}$$

Mätningarna med film har gett radondotterhalten i bottenvåningen C_{RnD} = 1071 Bq/m3, vilket ger

$$X = \frac{1}{0.65} \ . \ \frac{1071}{4.25 \ . \ 10^{-2}} = 38770 \text{ Bq/m3 /Rn/}$$

En ändring av husets täthet från 2 oms/h till 3 oms/h vid 50 Pa ger infiltration i undervåningen

$$Q_u = 3/2 \ . \ 4.36 \ . (\Delta T)^{0.744} = 6.54 \ (\Delta T)^{0.744}.$$

Vid $\Delta T = 24^{o}C$ blir

$$Q_u = 6.54 \ . \ 24^{0.744} = 69.6 \text{ m3/h.}$$

Radondotterhalten blir då

$$C_{RnD} = 0.65 \ . \ \frac{69.6 \ . \ 0 + 2.06 \ . \ 38770}{69.6 + 2.06} = 724 \text{ Bq/m3}$$

Enbart en ökning avv husets otätheter löser således inte problemet.

OBS! Det finns inte mätningar om radonhalter i marken vid samma tidpunkt som mätningarna med film utfördes. Man har dock uppskattat att det beräknade värdet 39000 Bq/m3 har rätt storleksordning.

UNDERTRYCKSGRUND

Undertrycket i byggnadens undervåning skall kompenseras med motsvarande undertryck under plattan. Förekommer ingen tryckgradient uppåt i plattan transporteras ingen radonhaltig markluft upp i byggnaden.

Undertrycket i byggnaden uppstår på grund av termik och vind. Undertrycket i byggnaden kan beräknas för olika klimatförhållanden. Beräkningarna utförs i ett datorprogram som TYRENS utvecklat. Resultatet redovisas nedan.

Antaganden som ligger till grund för beräkningen:

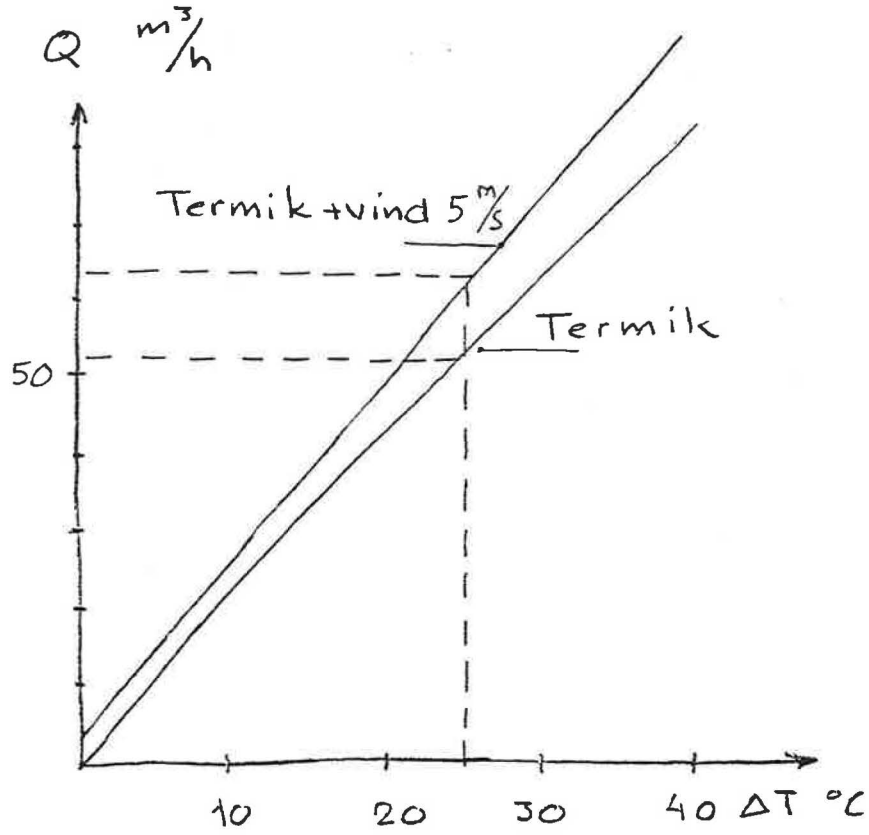
1) Husets luftomsättning vid 50 Pa = 2 oms/h

2) Formfaktor för vind enligt SBN

3) Takbjälklag och väggar i undervåningen är dubbelt så täta som väggar i övervåningen.

Flöde genom platta och mark: $Q = 9,966\ (\Delta p)^{0,954}$
(enl mätning)

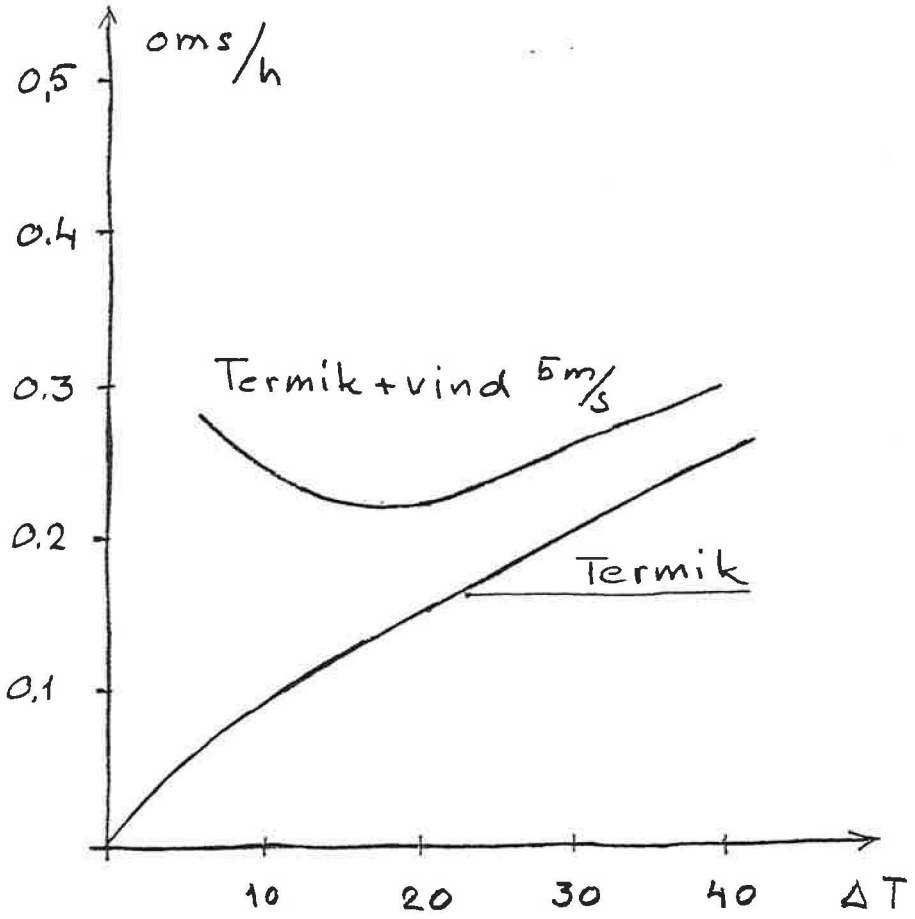
	ΔT	Δp från dator-beräkning	$Q = 9,966\ (\Delta p)^{0,954}$
Termik	10	-2,23	21,4
	20	-4,44	41,3
	30	-6,73	61,4
	40	-9,13	82,2
Termik + vind 5 m/s	10	-2.71	25,8
	20	-5,34	49,3
	30	-8,11	73,4
	40	-10,8	96,5



Q = erforderlig utpumpning under plattan för att ingen transport av radonbemängd markluft skall förekomma in i byggnaden.

En utpumpning av 63 m3/h från grunden ger radonsäkerhet under större delen av året.

Inverkan av vind har beaktats. Vid en vidhastighet av 5 m/s förekommer ingen radontransport uppåt så länge inte utetemperaturen är 25° eller mer under innetemperaturen.



Luftomsättningen per timme för hela byggnaden.

ÖVERTRYCKSGRUND

Princip

Genom att pumpa in luft under bottenplattan skapas en luftkudde som håller tillbaka den radonbemängda markluften.

Beskrivning

Luft till ovan nämnda luftkudde tas från huset. Detta medför att grunden värms, som i sin tur medför minskade transmissionsförluster. Våra mätningar visar att den inblåsta luften snabbt fördelar sig och ger relativt jämnt tryck under hela plattan.

Detta övertryck, som kan betraktas som differenstryck ute - mark, bestämmer luftflödet genom marken. Läckningen genom plattan ökar något när detta inblåsningstryck adderas till det termiska undertrycket, som normalt råder i en byggnad. Detta undertryck varierar och således även läckaget genom plattan men det påverkar inte tryckförhållandena nämnvärt på grund av att marken är mycket otätare än plattan. Vid rätt anpassat flöde kommer all markluft att hållas tillbaka och den luft som nu läcker in är rumsluft i stället för som tidigare markluft med hög radonhalt.

Åtgärd

Ca 60 m3/h rumsluft pumpas in under bottenplattan. Detta motsvarar 0,15 oms/h för hela byggnaden. Tryckförhållandena kan bestämmas med en överslagsberäkning:

$$p_{pl - ute} = (q/k)^{1/\beta} = \left(\frac{60}{9.966}\right)^{1/0,954} = 6,6 \text{ Pa.}$$

(läckning mark och platta: $Q = 9,966\ (\Delta p)^{0,954}$ enl mätning)

Dessutom tillkommer läckage genom plattan på grund av undertryck i byggnaden.

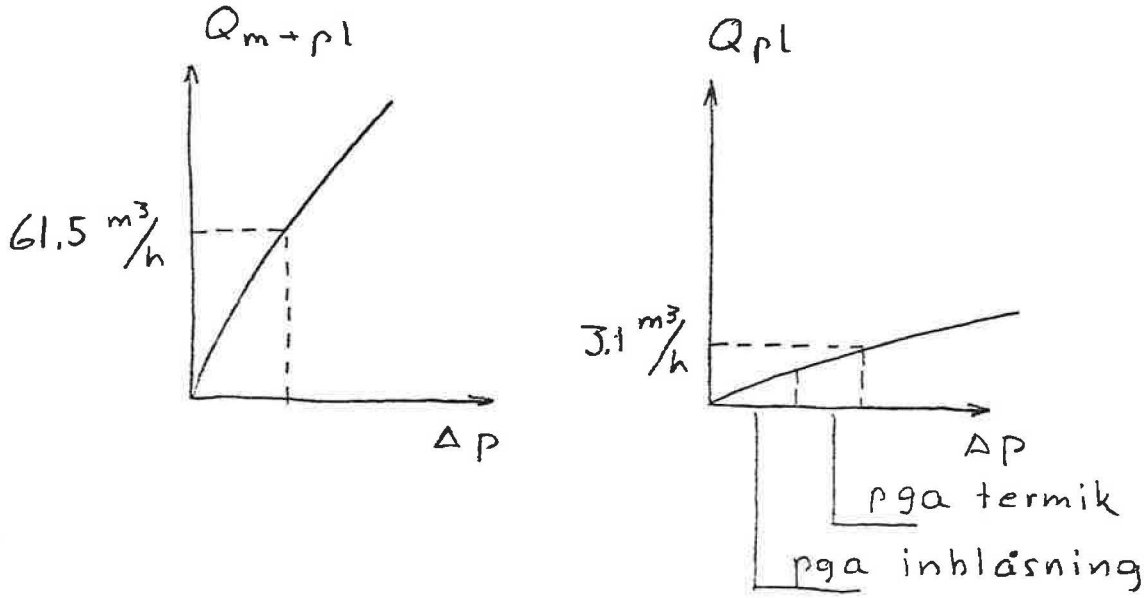
Antag $\Delta T = 20^{o}C$ - undertryck i byggnaden = -4,4 Pa (från datorberäkning)

$$Q_{pl} = 0{,}314\ (4{,}4 + 6{,}6)^{0{,}954} = 3{,}1\ m3/h$$

p g a inblåsn

p g a termik

$$Q_{mark} = 9{,}652\ .\ 6{,}6^{0{,}954} = 58{,}4\ m3/h$$

$$Q_{pl+m} = 3{,}1 + 58{,}4 = 61{,}5\ m3/h$$

Återcirkulation genom plattan blir således 3.1 m3/h om man blåser in 61.5 m3/h vid $\Delta T = 20^{o}C$.