

Projektredovisning

Sammanfattande beskrivning av projektet:

Miljöbeslut i byggprocessen baserade på riskanalys, etapp II

Projektnummer: 11336

Projektansvarig: Sveriges Byggindustrier

Projektledare: Professor Bernt Johansson, Luleå tekniska universitet

Projekt

Projekttitel: Miljöbeslut i byggprocessen baserade på riskanalys, etapp II

Projekt nr.: 11336

Projektansvarig: Sveriges Byggindustrier

Projektledare: Professor Bernt Johansson, Luleå tekniska universitet

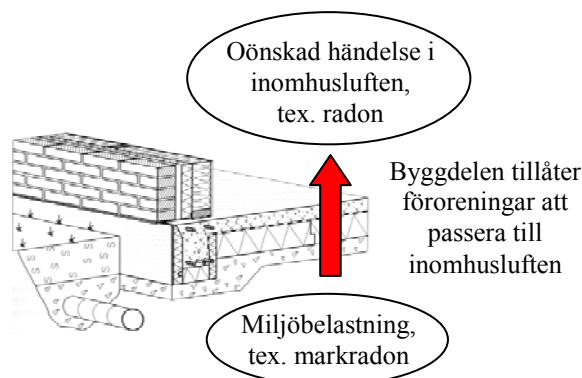
Bakgrund och syfte

Byggnaders inomhusmiljö och luftkvalitet är föremål för världsomfattande forskning. Skapandet av en bra inomhusmiljö är viktigt för människors hälsa och välbefinnande. Detta projekt är en fortsättning på ett projekt med samma titel som avslutades med en licentiatuppsats i början av 2003. Syftet med projektet har varit att utveckla en modell för värdering av risken för att inomhusmiljön skall innehålla luftföroreningar som medför hälsorisker för människor. Den ohälsosamma inomhusmiljön uppkommer till följd av en miljöbelastning som påverkar byggnaden och beslut som tas i byggprocessen om hur byggnaden skall utformas och uppföras. Modellen bygger på samma säkerhetsfilosofiska grund som den modell som används för mekanisk påverkan på bärande konstruktioner.

Under etapp I utvecklades en modell där risken för läckage av radon från marken till inomhusmiljön bestämdes och jämfördes med gränsvärdet i svenska byggregler samt tillämpades på utförda radonmätningar. I etapp II har modellen utvecklats vidare till att även jämföra risken för en ohälsosam inomhusmiljö på grund av radon med risken för att människor ska bli sjuka. Modellen har även tillämpas på mikroorganismer i form av Legionella-bakterier i bostäders vattenledningssystem.

Metod

När bärande konstruktioner dimensioneras jämförs lasten som påverkar t.ex. en balk med hur mycket balken klarar av att bära. Syftet med projektet är att på samma sätt som för bärande konstruktioner jämföra den oönskade mängden luftföroreningar som kan uppkomma i inomhusluften med vilka konsekvenser den medför för människor, dvs. bestämma risken för ohälsa.



Figur 1 En miljöbelastning tillsammans med byggnadens utformning och utförande ger en oönskad händelse i inomhusluften i form av luftföroreningar som kan ge negativa hälsoeffekter hos människor.

Som utgångspunkt för att bestämma lasten på inomhusmiljön har IEC:s standard för riskanalys (IEC 60300-3-9:1995) kombinerat med felträdsanalys (SS-IEC 1025:1990) använts för att möjliggöra en både kvalitativ och kvantitativ uppskattning. Med hjälp av felträdsanalys

kan orsakerna till luftföroreningar i inomhusmiljön bestämmas kvalitativt. Det konstruerade felträdet utvärderas därefter kvantitativt och ger variationen av luftföroreningar inomhus. Variationen av föroreningar jämförs sedan med dos-responssamband eller ett gränsvärde för att bestämma risken för att människor ska bli sjuka. Den säkerhetsfilosofiska metoden för analys av bärande konstruktioner (SRA) har använts för att hantera funktioner som beskriver förhållandet mellan bashändelserna i felträdet och de stokastiska variablerna. Användandet av SRA gör att risken kan definieras som att ett gränslasttillstånd inte är uppfyllt, dvs.:

$$M_{\text{env}} = G(X_{\text{env}}, Y_{\text{env}}) = X_{\text{env}} - Y_{\text{env}} < 0$$

De stokastiska variablerna X_{env} and Y_{env} definieras som:

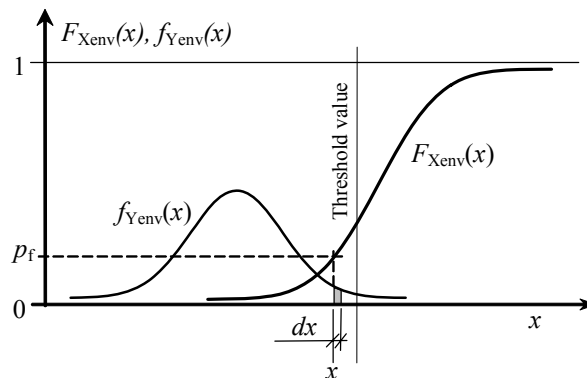
X_{env} = dos-responssambandet, dvs. sambandet mellan exponering av den ohälsosamma inomhusmiljön och andelen exponerad befolkning som drabbas av negativa hälsoeffekter.

Y_{env} = önskad händelse i inomhusmiljön, dvs. sambandet mellan en miljöbelastning och dimensionering och uppförande av en byggnad.

Målsättningen med metoden är att jämföra den önskade händelsen inomhus med konsekvenserna för människor, dvs. bestämma risken för ohälsa genom att jämföra de stokastiska variablerna som vid dimensionering av bärande konstruktioner enligt figur 2. När de stokastiska variablerna X_{env} och Y_{env} är statistiskt oberoende av varandra kan den totala brotts sannolikheten bestämmas genom integrering över alla möjliga x :

$$p_f = P(X_{\text{env}} - Y_{\text{env}} < 0) = \int_{-\infty}^{\infty} F_{X_{\text{env}}}(x) f_{Y_{\text{env}}}(x) dx$$

Detta beskrivs i figur 2 där sannolikheten för den önskade händelsen inomhus har ett värde mellan x och $x+\Delta x$ när $\Delta x \rightarrow 0$ (Δx betecknas dx i figur 2). $F_{X_{\text{env}}}(x)$ är sannolikheten för att människor tål mindre av luftföroreningarna inomhus än ett värde x , dvs. människor blir sjuka.



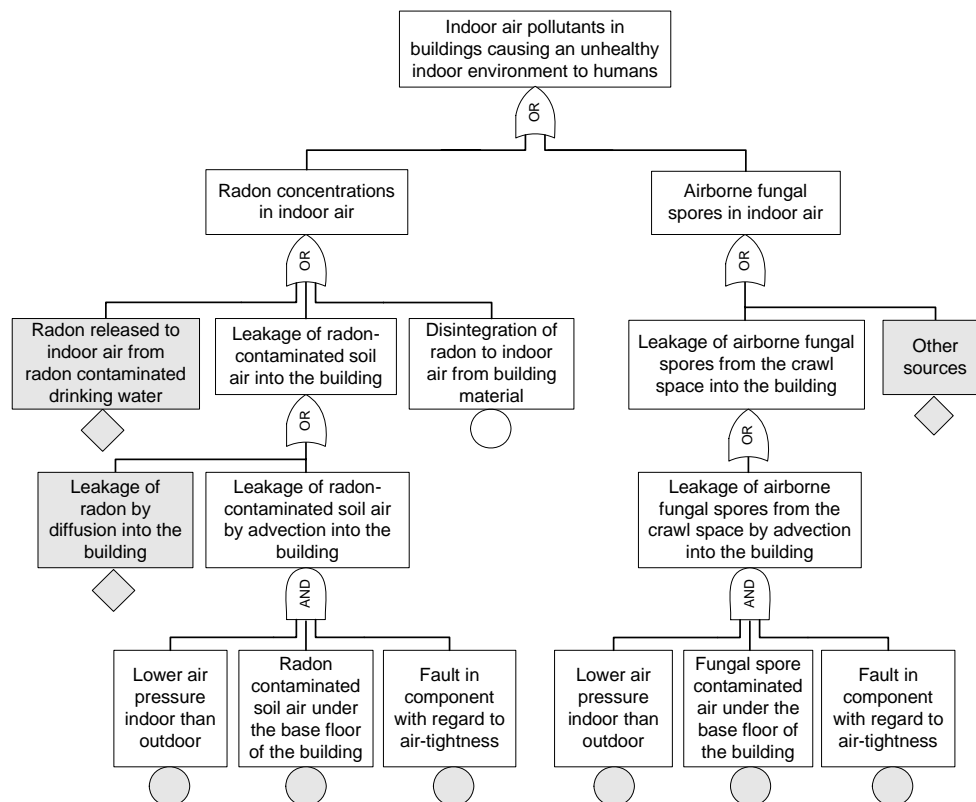
Figur 2 Jämförelse mellan den önskade händelsen inomhus Y_{env} , och dos-responssambandet X_{env} .

Sannolikheten för överträdelse av ett gränslasttillstånd eller ett gränsvärde, samt säkerhetsindex β kan bestämmas med hjälp av första-ordningens nivå-2-metod (FOSM) eller genom simulering. Sambandet mellan exponering och hälsoeffekter tas från epidemiologiska studier eller så används fastställda gränsvärden eller riktvärden då dos-responssamband inte finns tillgängliga.

De miljöfaktorer som har identifierats i litteraturen som den största orsaken till en ohälsosam inomhusmiljö är mikroorganismer, eller produkter från mikroorganismer, emissioner och joniserande strålning. Från dessa miljöfaktorer valdes radon och Legionella-bakterier ut för att representera miljöbelastningen på byggnaden.

Resultat

Den föreslagna riskanalysmetoden tillämpas på en fiktiv enfamiljsvilla grundlagd med en betongplatta på mark i ett område som kännetecknas av höga nivåer av markradon. Den oönskade lasten på inomhusmiljön definieras som "Radonkoncentrationer i inomhusluften" och med hjälp av felträdsanalys kan orsakerna till radon i inomhusmiljön bestämmas, se figur 3. Höga halter av radon i inomhusluften beror framförallt på markradon som läcker in i byggnaden via otätheter i grunden.

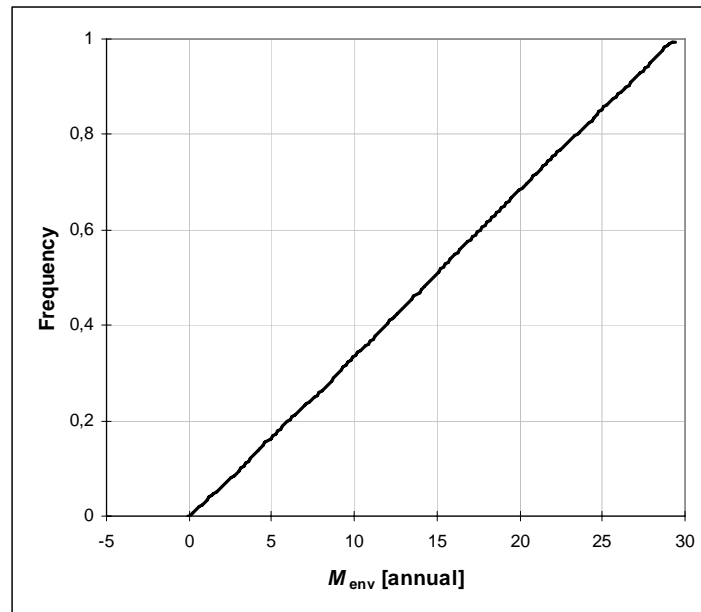


Figur 3 Felträd som redovisar orsakerna till den oönskade händelsen inomhus Y_{env} på grund av radon.

Bashändelserna i felträdet kan nu definieras med hjälp av funktioner som beskriver förhållandet mellan de variabler som är orsaken till radon i inomhusluften. Utvärdering av felträdet med Boolsk algebra ger att topphändelsen i trädet kan skrivas:

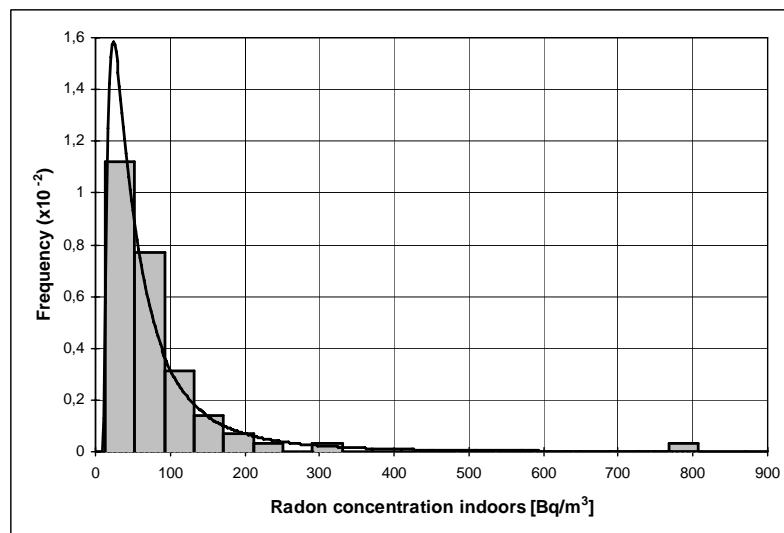
$$G(Y_{env}) = \frac{C_{max} \cdot \lambda}{(\lambda + n) \cdot V_{build} \cdot \ell} \cdot \frac{\Delta p \cdot l \cdot w^3}{12\eta \cdot t} \quad [Bq/m^3]$$

Den årliga variationen av radon i inomhusluften bestäms med hjälp av Monte Carlo-simuleringar och jämförs med ett befintligt samband mellan exponering av radon och risken för att drabbas av lungcancer som är 3,4 % per 1000 Bq/m³ och år (Perschagen et al, 1993).



Figur 4 *Fördelningsfunktionen för M_{env} när den önskade händelsen inomhus på grund av radon jämförs med dos-responssambandet för radon.*

Sannolikheten för att bli sjuk i den fiktiva bostaden är $p_f = 0,002$ per år. Den årliga variationen av radon i inomhusluften jämförs också med gränsvärdet i de svenska byggreglerna 200 Bq/m^3 vilket ger sannolikheten $p_f = 0,0001$ att överskrida gränsvärdet. Detta är jämförbart med dimensionering av bärande konstruktioner i säkerhetsklass 1, vilket är den lägsta säkerhetsklassen som tillämpas för konstruktioner och där risken för allvarliga personskador är liten om brott inträffar.

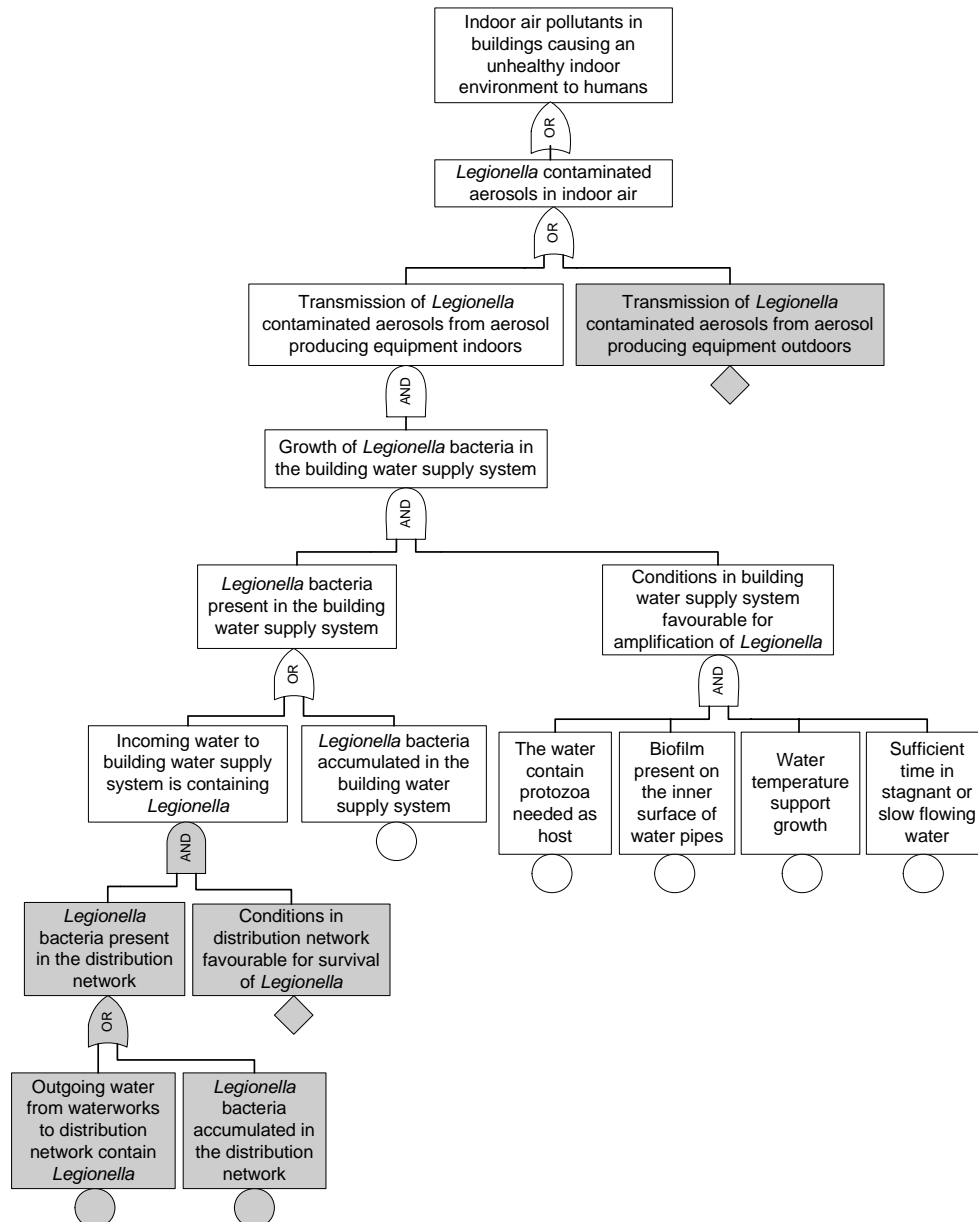


Figur 5 *Histogram över observationer och föreslagen fördelning från radonmätningar gjorda på 72 bostäder i Hudiksvall grundlagda med betongplatta på mark och utrustade med från- och tilluftsventilation.*

En riskbedömning har också gjorts för radonmätningar utförda i Hudiksvalls kommun. I bostäder grundlagda med betongplatta på mark och utrustade med från- och tilluftsventilation fanns 72 observationer som hade en sannolikhet på 0,04 att överskrida det svenska

gränsvärdet för radon i inomhusluften. Den årliga risken att drabbas av lungcancer beräknades till 0,003.

Riskanalysmetoden tillämpas också på en bostadsrättslägenhet där den oönskade händelsen definieras som "Legionella-kontaminerade aerosoler i inomhusluften". Av intresse i analysen är bland annat den inkommande mängden bakterier i vattenledningen och den ackumulerade mängden i byggnadens ledningssystemet, samt tiden för stillastående vatten i ledningen.



Figur 6 Felträd som redovisar orsakerna till den oönskade händelsen inomhus Y_{env} på grund av Legionella-bakterier.

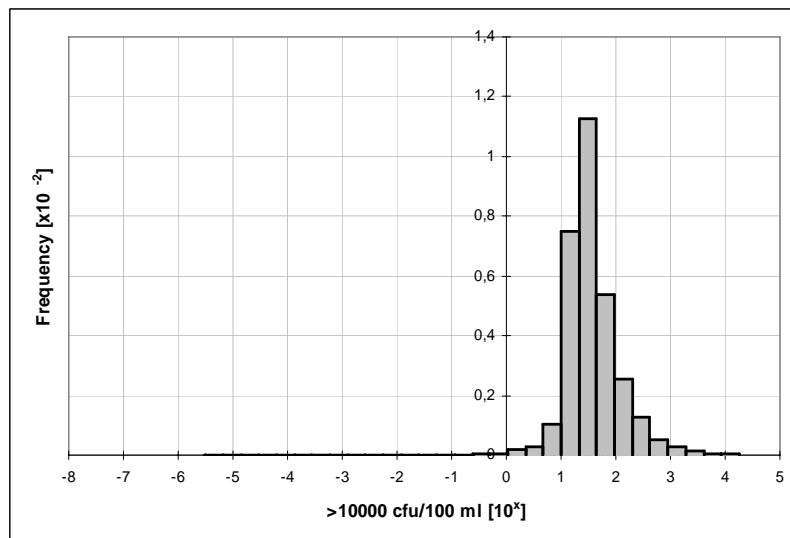
Bakteriernas tillväxtfaktor har bestämts genom tester av bakteriehalten i lägenhetens duschvatten. Bashändelserna i felträdet kan nu definieras med hjälp av funktioner som beskriver förhållandet mellan de variabler som är orsaken till Legionella-kontaminerade aerosoler i inomhusluften. Utvärdering av felträdet med Boolsk algebra ger att topphändelsen i trädet kan skrivas:

$$G(\mathbf{Y}_{E1}) = N_1 \cdot e^{\mu \cdot \Delta t}$$

eller transformerat till basen 10:

$$G(\mathbf{Y}_{env}) = \log N_2 = \frac{\mu}{2,303} \cdot (t_2 - t_1) + \log N_1$$

Vid riskbestämningen jämförs halten av bakterier i duschen med riktvärden erhållna från US EPA (1999) och EWGLI (2002) eftersom ett dos-responssamband som beskriver individers känslighet för Legionella-bakterier inte finns tillgängligt.



Figur 7 Jämförelse med den oönskade händelsen inomhus Y_{env} på grund av Legionella-bakterier och ett gränsvärde.

Sannolikheten för att överskrida riktvärdet 10 000 cfu Legionella-bakterier per 100 ml vatten i den aktuella lägenhetsduschen är $p_f = 0,006$.

Slutsats

Syftet med projektet har varit att utveckla en modell för värdering av risken för att inomhusmiljön skall innehålla luftföroreningar som medför hälsorisker för människor. Den ohälsosamma inomhusmiljön uppkommer till följd av en miljöbelastning från t.ex. radon som påverkar byggnaden och beslut som tas i byggprocessen om hur byggnaden skall utformas och uppföras. Modellen skulle bygga på samma säkerhetsfilosofiska grund som den modell som används för mekanisk påverkan på bärande konstruktioner. Slutsatsen är att det är möjligt att jämföra den oönskade mängden luftföroreningar i inomhusmiljön orsakade av radon och Legionella-bakterier, med ett befintligt dos-responssamband eller gränsvärde på samma sätt som lasten och bärförmågan jämförs vid sannolikhetsteoretisk dimensionering av bärande konstruktioner.

Referenser

BFS 2002:19. (2002). *Boverkets byggregler, BBR*. Karlskrona: Boverket.

BFS 2003:6. (2003). *Boverkets konstruktionsregler, BKR*. Karlskrona: Boverket.

EWGLI. (2002). *The Europeans guidelines for control and prevention of travel associated Legionnaires' disease*. The European surveillance scheme for travel associated Legionnaires' disease and the European working group for Legionella infections. URL: www.ewgli.org (2004-06-10).

IEC 60300-3-9:1995. Dependability management – Part 3: Application guide – Section 9: Risk analysis of technological systems.

Pershagen, G., Axelson, O., Clavensjö, B., Damber, L., Desai, G., Enflo, A., Lagarde, F., Mellander, H., Svartengren, M., Swedjemark, G.A., Åkerblom, G. (1993). *Radon i bostäder och lungcancer. En landsomfattande epidemiologisk undersökning*. Stockholm: Karolinska institutet, Institutet för miljömedicin. IMM-rapport 2/93.

SS-IEC 1025:1990. Fault tree analysis (FTA).

U.S. Environmental Protection Agency. (1999). *Legionella: Human health criteria document*. EPA-822-R-99-001.