



Miljøministeriet
Miljøstyrelsen

Metoder til sporing af indtrængnings- veje for poreluft til indeklima

Teknologiprogram for jord-
og grundvandsforurening

Miljøprojekt nr. 1590, 2014

Titel:

Metoder til sporing af indtrængningsveje for
poreluft til indeklima

Redaktion:

Jesper Bruun Petersen, NIRAS A/S
Mette Neerup Jeppesen, NIRAS A/S
Børge Hvidberg, Region Midtjylland

Udgiver:

Miljøstyrelsen
Strandgade 29
1401 København K
www.mst.dk

År:

2014

ISBN nr.

978-87-93178-82-3

Ansvarsfraskrivelse:

Miljøstyrelsen vil, når lejligheden gives, offentliggøre rapporter og indlæg vedrørende forsknings- og udviklingsprojekter inden for miljøsektoren, finansieret af Miljøstyrelsens undersøgelsesbevilling. Det skal bemærkes, at en sådan offentliggørelse ikke nødvendigvis betyder, at det pågældende indlæg giver udtryk for Miljøstyrelsens synspunkter. Offentliggørelsen betyder imidlertid, at Miljøstyrelsen finder, at indholdet udgør et væsentligt indlæg i debatten omkring den danske miljøpolitik.

Må citeres med kildeangivelse.

Indhold

Forord.....	5
Sammenfatning og konklusion	6
Sammenfatning.....	6
Hovedkonklusioner	6
Summary and Conclusion	9
Summery.....	9
Principal conclusions.....	9
1. Indledning	12
1.1 Baggrund og formål	12
1.2 Undersøgelsen.....	13
2. Erfaringsindsamling.....	14
3. Metodebeskrivelser	15
3.1 Forudsætninger for undersøgelse	15
3.2 Sporgasundersøgelser	16
3.2.1 Udstyr	16
3.2.2 Fremgangsmåde.....	17
3.2.3 Forudsætning for brug	17
3.2.4 Fordele og ulemper	17
3.2.5 Erfaringer	18
3.2.6 Alternativt værktøj	18
3.3 Screening for flygtige organiske forbindelser med avanceret PID-måler	19
3.3.1 Udstyr	19
3.3.2 Fremgangsmåde.....	19
3.3.3 Forudsætning for brug	19
3.3.4 Fordele og ulemper	19
3.3.5 Erfaringer	20
3.4 Termografering	20
3.4.1 Udstyr	21
3.4.2 Fremgangsmåde.....	21
3.4.3 Forudsætning for brug	21
3.4.4 Fordele og ulemper	21
3.4.5 Erfaringer	22
3.5 Thoronmålinger	22
3.5.1 Udstyr	22
3.5.2 Fremgangsmåde.....	23
3.5.3 Forudsætning for brug	23
3.5.4 Fordele og ulemper	23
3.5.5 Erfaringer	24
3.5.6 Alternativt værktøj	24
3.6 Kloakmålinger.....	25
3.6.1 Udstyr	25
3.6.2 Fremgangsmåde.....	25

3.6.3	Fordele og ulemper	26
3.6.4	Erfaringer	26
3.7	Supplerende undersøgelsesmetoder	26
3.7.1	Trykdifferensmålinger	26
3.7.2	Blowerdoor	28
3.7.3	Radonmålinger	29
4.	Anvendelsesmuligheder	30
4.1	Forudgående undersøgelser (før afværge)	30
4.2	Afdækkende undersøgelser i forbindelse med afværge	30
4.2.1	Undersøgelsesstrategi	32
5.	Sammenfatning	35
5.1	Anbefalinger	36
6.	Referencer	38
Bilag 1:	Spredningsmekanismer	40

Forord

Denne rapport er udarbejdet på baggrund af flere teknologiudviklingsprojekter gennemført for Miljøstyrelsen. Projekterne er afrapporteret i miljøprojekterne /3, 4/. De nævnte projekter omhandler begge specifikke undersøgelser af metoder til lokalisering af advektive indtrængningsveje for flygtige forureningsstoffer fra poreluft til indeluft.

Projekterne er gennemført i perioden marts 2010 til december 2012. Som baggrund for dette projekt er endvidere inddraget generel erfaring opnået gennem andre projekter, hvor lokalisering af indtrængningsveje har indgået som et undersøgelselement /2, 6, 8, 9, 10/.

Denne rapport indeholder en beskrivelse af de enkelte metoder med angivelse af fordele og ulemper, samt en vurdering af fordelene ved kombination af de forskellige metoder.

En del af projektaktiviteterne er gennemført ved hjælp af udstyr venligst udlånt af VIA University College, Horsens v. lektor Inga Sørensen.

Projektet er udarbejdet af NIRAS A/S i samarbejde med Region Midtjylland og indgår i Miljøstyrelsens Teknologiudviklingsprogram for jord- og grundvandsforurening.

Projektet har været finansieret af Miljøstyrelsen og Region Midtjylland.

Sammenfatning og konklusion

Sammenfatning

Indtrængning af forurenede poreluft til indeklima er påvirket af en række faktorer, samt fysiske, kemiske, geologiske og biologiske processer. Indtrængning gennem gulvkonstruktionen skyldes advektiv/konvektiv strømning og diffusion, hvor førstnævnte som regel vurderes at udgøre den primære kilde. Advektiv strømning er flow grundet bevægelse af et volumen poreluft, som kontinuerligt strømmer til eller fra indeklimaet, afhængig af lokale trykforhold, der igen afhænger af faktorer som bl.a. atmosfæretryk, vindpåvirkning og temperaturforhold. Den konvektive strømning af poreluft foregår gennem utætheder og lækager i konstruktionen (gulv, vægge, rørgennemføringer, kloakker mm).

Idet der ofte sker en væsentlig indtrængning af flygtig forurening via disse indtrængningsveje, er det vigtigt at kunne opnå et samlet billede, så en efterfølgende afværge overfor disse kan medvirke til at reducere indeklimapåvirkningen.

I dag benyttes en række forskellige metoder til kortlægning af indtrængningsveje og forureningsspredning i bygninger, herunder primært byggeteknisk gennemgang, screening for flygtige organiske forbindelser med avanceret PID-måler /1,3/ samt gasmålinger af injiceret tracergas eller – røg /2/. Desuden er der inden for de seneste år undersøgt nye og supplerende metoder, herunder brugen af termografering /3/ og målinger af den radioaktive radonisotop thoron /4/. Metoderne er alle underlagt forskellige fordele, ulemper og usikkerheder.

Formålet med dette projekt er at præsentere, overordnet beskrive og sammenligne anvendelsespotentiale for en række metoder til lokalisering af indtrængende forurenede poreluft til indeklimaet.

Hovedkonklusioner

På baggrund af den gennemførte erfaringsopsamling, litteraturstudier og workshop er det valgt at præsentere nedenstående nye og kendte metoder til sporing af advektive indtrængnings- og spredningsveje, samt supplerende værktøjer der kan benyttes afhængig af det ønskede detaljegrad:

- Sporgasundersøgelser
- Avancerede PID-målinger
- Termografering
- Thoronmålinger
- Kloakmålinger
- Trykdifferensmålinger
- Blowerdoor
- Radonmålinger

De tre sidstnævnte værktøjer - trykdifferensmålinger, blowerdoor og radonmålinger - er beskrevet som supplerende værktøjer.

Herunder sammenfattes projektets erfaringer kort. Uddybende forklaringer til de enkelte metoder og deres anvendelighed i kombination kan ses i kapitel 4 og 5.

Metode	God til	Anvendes
Byggeteknisk gennemgang	Alle former for undersøgelser	Som uundværligt grundlag forud for andre undersøgelser. Bør altid gennemføres, men står sjældent alene.
Avanceret PID-målinger (ppb-RAE)	Simpel undersøgelse	Ved mindre undersøgelser, hvor der blot ønskes indikationer på omfanget af den advektive indtrængning, og hvor stor usikkerhed kan tolereres. Billig metode.
Thoron	Moderat undersøgelse	Når der ønskes øget sikkerhed. Højt detaljeringsniveau er muligt ved brug af supplerende metoder og værktøjer.
Sporgas	Detaljeret undersøgelse	Når der ønskes høj sikkerhed. Meget detaljeret niveau og høj sikkerhed.
Kloak	Alle undersøgelser	Når der ønskes høj sikkerhed omkring eventuel indtrængning via kloak.
Termografi	Ikke egnet	Bør ikke anvendes.
Trykdifferens-målinger	Alle former for undersøgelser	Generelt ofte med stor fordel. Skaber stor sikkerhed for øvrige målinger.
Blowerdoor	Moderat undersøgelse	Når der ønskes høj detaljerighed i undersøgelsen og høj sikkerhed for sporing af alle indtrængningspunkter
Radonmålinger	Moderat undersøgelse	Anvendes til at bestemme dæmpningsfaktor, samt til vurdering af særligt udsatte rum.

Undersøgelser, der har til formål at kortlægge indtrængningsveje, bør altid igangsættes ud fra klare retningslinjer for, hvad formålet med undersøgelsen er og hvor højt et detaljeringsniveau, der vurderes at være nødvendigt i den givne sag:

- Skal alle indtrængningsveje findes?
- Ønskes blot en fornemmelse af omfanget af de advektive indtrængningsveje?

Såfremt der ønskes viden på et detaljeret og sikkert niveau, anbefales det, afhængigt af bygningskonstruktionen, at gennemføre en byggeteknisk gennemgang, supplere denne med sporgas- eller thoronmålinger og understøtte disse ved trykdifferensmålinger. Desuden skal indtrængning via kloakkerne belyses hvis det vurderes at dette kan være en risiko.

Det supplerende værktøj Blowerdoor kan sikre at der er opadrettet trykgradient. Valg af Blowerdoor afhænger af hvilken sikkerhed man ønsker i sin undersøgelse, og bør overvejes individuelt i hver sag. Blowerdoor vurderes som en god metode, hvis der ønskes stor sikkerhed for at finde samtlige indtrængningsveje.

Radonmålinger er et godt supplement til andre undersøgelser, hvis man har behov for at kende dæmpningsfaktoren over gulv.

Termografi anbefales ikke taget i anvendelse ved undersøgelserne.

Summary and Conclusion

Summary

Intrusion of contaminated soil gas to indoor air is influenced by numerous factors and physical, chemical, geological and biological processes. Infiltration through a floor structure is caused jointly by advective/convective flow and diffusion, where the former is usually considered the primary contributor. Advective flow is flow caused by the movement of a volume of soil gas continuously flowing to and from indoor air, depending on local pressure conditions, which again depend on erratic factors such as i.a. atmospheric pressure differences, wind action and temperature conditions. This convective flow of soil gas progresses through leakages in the structure (floor, walls, pipe penetrations, sewers etc.).

Given that there is frequently a significant intrusion of volatile contamination via intrusion pathways, it is important to obtain a complete picture, so the remediation can reduce the effects on indoor air.

Today, various methods for surveying intrusion pathways and pollutant dispersion in buildings are available. These primarily include the use of a technical structure review and gas screening with an advanced PID-meter /1/ and measurements of an injected tracer gas or fume /2/. In addition new and additional methods have been introduced within the past years, including the use of thermography /3/ and measuring the radioactive isotope of radon called thoron /4/. The methods are all subject to a variety of advantages, disadvantages and uncertainties.

The purpose of this project is to present, in general terms describe and compare the application potential for a variety of methods for the detection of volatile contaminated soil gas intrusion pathways to indoor air.

Principal conclusions

On the basis of the experience gathering carried out, the literature study and the workshop, the below new and well-known methods for tracing advective intrusion and dispersion pathways, along with supplementary tools to increase the level of investigatory detail are presented:

- Tracer gas investigations
- Advanced PID measurements
- Thermography
- Thoron measurements
- Sewer measurements

- Pressure difference measurements
- Blowerdoor
- Radon measurements

The latter three methods – pressure difference measurements, Blowerdoor and radon measurements – are described as supplementary tools.

Below the experiences of the project are shortly summed up. Supplementary information about the methods and their applicability in combination can be found in chapter 5, 6 and 7.

Method	Suitable for	Used
Technical structure review	All kinds of investigations	As the essential base ahead of other investigations. Should always be performed but stand rarely alone.
Advanced PID measurements	Simple investigation	For small investigations, where only indications of the extent of the advective intrusion are required, and where large uncertainties are tolerated. Inexpensive method.
Thoron	Moderate / detailed investigation	When increased certainty is required. High detail level is possible when using supplementary methods and tools.
Tracer gas	Detailed investigation	When a high degree of certainty is required. Very detailed level and a high degree of certainty.
Sewer measurements	All kinds of investigations	Used to detect intrusion via sewer and pipe installations. creates certainty for other measurements
Thermography	Not suitable	Should not be used.
Pressure difference measurements	All kinds of investigations	Generally with advantage. Better assessment of accuracy for other measurements.
Blowerdoor	Moderate investigation	When a high level of detail and a high degree of certainty of detecting all possible intrusion points are required.
Radon measurements	Moderate investigation	Used to determine the attenuation factor for floor constructions.

Investigations, which aim to map intrusion pathways, should always be initiated with basis in clear guidelines for the purpose of the investigation, and the level of detail necessary in the given case should be considered before initiation.

- Must all leakages be found?
- Is only an idea of the extent of the advective intrusion pathways required?

If knowledge of a detailed and certain level is required, it is, depending on the site and structure conditions, recommended to carry out a technical structure review, supplement this with thoron and tracer gas measurements and support these by means of pressure difference measurements. In addition, the intrusion through sewers should be investigated.

The supplemental tool, Blowerdoor, can ensure an upward pressure gradient. Only tracer gas measurements will be able to detect gas intrusion in the absence of an upward pressure gradient, since the gas is injected at high pressure. Choosing a Blowerdoor depends on the level of certainty wanted in the investigation and should be individually considered from case to case. A Blowerdoor is considered a sound method in the case where great certainty for detecting all intrusion pathways is needed.

It is not recommended to use thermography in the investigations.

1. Indledning

1.1 Baggrund og formål

Indtrængning af poreluft til indeklimaet er en naturlig proces, som primært forårsages af det relative undertryk i indeklimaet. Undertrykket opstår primært som følge af (A) vindpåvirkning af konstruktionen, (B) temperaturforskelle mellem indenfor og udenfor (skorstenseffekt) og (C) brugen af ventilationssystemer i bygningens indeklima, se bilag 1. Undertrykket giver anledning til, at der fra en zone i jorden under bygningen, kaldet influenszonen, suges luft ind i indeklimaet. Bygningens gulvkonstruktion er ofte sidste forsvar mod indtrængning af poreluft, og tætheden (fladens tæthed og mængde af revner og andre større utætheder) er derfor afgørende for mængden af indtrængende poreluft samt eventuelle forureningsstoffer.

I Danmark findes en lang række lokaliteter, hvis undergrund er forurenede af menneskelige aktiviteter. En sådan underliggende forurening kan give indeklimamæssige problemer for en given bebyggelse, idet flygtige organiske forureningsstoffer (VOC) kan trænge op fra poreluften under gulvet til indeluften. Indtrængningen af VOC foregår primært via strømningen af poreluft mod indeklimaet og dermed gennem utætheder i bygningens gulvkonstruktion. Lokalisering af disse indtrængningsveje foregår traditionelt ved byggeteknisk gennemgang, ved måling med avanceret PID-måler, kloakmålinger eller ved sporgasmålinger.

I løbet af de seneste år har Region Midtjylland sammen med Grontmij og NIRAS undersøgt en række forskellige metoder til kortlægning af indtrængningsveje og forureningsspredning i bygninger, herunder primært byggeteknisk gennemgang, screening for flygtige organiske forbindelser med avanceret PID-måler /1,3/ samt gasmålinger af injiceret tracergas eller – røg /2/. Desuden er der inden for de seneste år undersøgt nye og supplerende metoder, herunder brugen af termografering /3/ og målinger af den radioaktive radonisotop thoron /4/. Metoderne er alle underlagt forskellige fordele, ulemper og usikkerheder.

Formålet med dette projekt er at præsentere, overordnet beskrive og sammenligne anvendelsespotentialer for en række metoder til lokalisering af indtrængningsveje for forurenede poreluft til indeklimaet.

Projektets formål er således:

- at sammenligne og beskrive de forskellige metoder, der i dag benyttes til identifikation af indtrængnings- og spredningsveje for flygtige forureningskomponenter fra poreluft til indeklimaet (anvendt hver for sig eller i kombination).
- at udarbejde anvisninger for fremtidig undersøgelser

Det fremtidige potentiale for projektet er:

- Muligheder for kortlægning af indtrængningsveje ved konstateret forurening.
- Fastlæggelse af alternativ strategi for afværge.
- Minimering af usikkerheder i forbindelse med måling, vurdering, valg af afværge mm.

Projektet skal beskrive god praksis for anvendelsen af de forskellige metoder.

1.2 Undersøgelsen

Projektet indeholder en erfaringsopsamling og et litteraturstudie af allerede udførte målinger i andet projektregi. Forud for projektet er udført to selvstændige miljøprojekter indeholdende metodeafprøvning af nye og kendte metoder til sporing af indtrængningsveje. Projekterne er afrapporteret i /3, 4/.

Desuden indeholder projektet opsamling fra en åben workshop afholdt d. 27. september 2012 af NIRAS A/S med deltagelse af bl.a. Miljøstyrelsen, regioner og rådgivere i branchen, hvor erfaringer, metoder, styrker og svagheder ved diverse teknikker blev delt, se afsnit 3.

2. Erfaringsindsamling

Den 27. september 2012 afholdte NIRAS, som en del af projektet, en heldags workshop omkring forureningspåvirkning af indeklimaet i boliger. Til workshoppen deltog Miljøstyrelsen, regioner, forskningsinstitutioner og rådgivere. Workshoppen blev afholdt i Aarhus og indeholdte en række indlæg og præsentationer om ovenstående tema.

Et væsentligt mål med dagen var specifik dialog, diskussion og erfaringsudveksling om forskellige metoders anvendelighed til at spore indtrængningsveje. Forud for diskussionen blev metoder og erfaringer indsamlet af NIRAS i forbindelse med projektet præsenteret ved oplæg.

Input fra workshoppen er indarbejdet i den samlede rapportering.

3. Metodebeskrivelser

Dette kapitel indeholder en præsentation og gennemgang af de forskellige benyttede metoder, der kan anvendes til lokalisering af indtrængnings- og spredningsveje for poreluft til indeklimaet. Kapitlet er et sammenkog af litteratur- og projektstudier, erfaringsindsamling i forbindelse med dette projekt samt feltstudier foretaget i forbindelse med miljøprojekterne i /3, 4/.

Afsnittet indeholder for hver metode en beskrivelse af: Overordnede principper for metoden, specifikt udstyr, fremgangsmåde i forbindelse med undersøgelse, forudsætninger for anvendelse af metoden, fordele og ulemper ved metoden, prisniveau for undersøgelse ved hjælp af metoden og eksempler på resultater opnået ved anvendelse af metoden i konkrete projekter.

I forbindelse med indledende undersøgelser på forurenede grunde vil der, hvis der påvises en kraftig poreluft forurening under en bolig, blive vurderet, om der skal udføres indeklimamålinger. Hvis der her påvises en uacceptabel påvirkning af indeklima, søges indtrængningsveje for forurennet poreluft ofte identificeret.

De anvendte metoder, beskrevet i denne rapport, til identificering er følgende:

- Sporgasmålinger
- Avancerede PID-målinger
- Termografering
- Thoronmålinger
- Kloakmålinger

Baggrunden for kapitlet er som beskrevet i kapitel 2 erfaringsindsamling på workshop d. 27. september 2012 samt uddybende undersøgelser gennemført i /2, 3, 4/ hvori de enkelte metoder er grundigt forklaret og beskrevet.

3.1 Forudsætninger for undersøgelse

I lighed med sager med grundvandsforurening bør der i sager med indeklimapåvirkning opstilles en konceptuel model, der beskriver forureningens beliggenhed og spredning til indeluften. Den konceptuelle model vil være en viderebearbejdning af den konceptuelle model, der foreligger fra de indledende og evt. supplerende undersøgelser.

Modellen opstilles ud fra indsamlet viden om geologi, hydrogeologi, forureningens egenskaber og beliggenhed samt oplysninger om bygningens konstruktion og kloakledninger. I takt med at der hentes oplysninger fra den byggetekniske gennemgang og feltundersøgelser, udbygges og forbedres den konceptuelle model, se figur 2 i bilag 1.

Formålet med den konceptuelle model er, at anskueliggøre de forhold der spiller ind på forureningens indtrængning og spredning i indeklimaet, og derved bedre kunne tilrettelægge undersøgelsesstrategien, samt for at kunne understøtte vurderingen af resultaterne af de udførte undersøgelser.

En vigtig del af den konceptuelle model er oplysningerne fra en byggeteknisk gennemgang, som er en detaljeret besigtigelse og registrering af bygningen foretaget af en bygge- og forureningssagkyndig person. Den byggetekniske gennemgang er en væsentlig del af beslutningsgrundlaget for at

vurdere hvilke eventuelle afværgeforanstaltninger, der er teknisk, økonomisk og miljømæssigt relevante.

Den byggetekniske gennemgang anvendes således til at give et overblik over de byggetekniske forhold, bygningens tilstand samt et kendskab til potentielle indtrængningsveje. En byggetekniske gennemgang udføres ofte i forbindelse med undersøgelser på forurenede grunde, hvor der er påvist indtrængning af forurenede poreluft til indeklimaet. Der bør ved besigtigelsen fokuseres på de i /21/ beskrevne potentielle indtrængningsveje.

Ved gennemgangen foretages en skematisk registrering, en optegning og en foto- samt evt. videoregistrering. Der foretages både en ind- og udvendig registrering af nødvendige forhold. Viden om bygningskonstruktionen fra det kommunale byggesagsarkiv inddrages desuden.

Den byggetekniske gennemgang, herunder lister af de byggetekniske forhold, der bør registreres ved gennemgangen, er detaljeret beskrevet i /21/.

3.2 Sporgasundersøgelser

Injektion og efterfølgende kontrolmåling vha. af sporgas er en metode, der i dag ofte benyttes til lokalisering af konvektive trængningsveje for poreluft til indeklima. Metoden er undersøgt og velbeskrevet i /2/ og er ligeledes efterprøvet i /3/.

Formålet med metoden er, via injektion af en specifik gasart under gulvkonstruktionen i en given bygning, at kunne spore de punkter hvorigennem gassen bevæger sig i konstruktionen. Drivkraften for sporgassens bevægelser er både selve injektionen, som foretages ved højt tryk, diffusion, gassens lave densitet, der giver anledning til opadrettet flow, samt det naturligt eller menneskeskabte relative indendørs undertryk, der giver anledning til luftflow fra jord mod indeklima. Efter injektion af gassen under gulvet, kan indeklimaet screenes for sporgassen med en håndholdt detektor.

Sporgasundersøgelser kan endvidere anvendes til sporing af utætheder i kloaksystemer.

3.2.1 Udstyr

3.2.1.1.1 Sporgas

Som sporgas anvendes oftest en specialgasblanding bestående af 5 % brint og 95 % kvælstof. Gassen klassificeres som inert, idet brintindholdet er under 5,7 %. Der kan også anvendes andre sporgasser.

3.2.1.2 Gasflaske og injektion

Fra trykflasken udledes gassen via en ventil til regulering af det ønskede flow. Flowet kan varieres individuelt fra lokalitet til lokalitet afhængig af omstændighederne. Gassen ledes f.eks. gennem et etablerede injektionshul i gulvet eller soklen til spredning under gulvniveau. På lokaliteter med dræn under guly, kan disse også anvendes i forbindelse med spredning af sporgas.

3.2.1.3 Håndholdt detektor

Til detektion af sporgassen ved håndholdt screening benyttes ofte en batteridreven lækagedetektor af typen Digitron DGS-10, som uden brug af en ekstern pumpe reagerer på 16 forskellige gasarter, herunder eksempelvis metan, propan, ammoniak, brint, butan, acetone og industrielle opløsningsmidler. Detektoren virker ved hjælp af en solid state sensor påsat en fleksibel arm, der muliggør måling på ellers ufremkommelige steder. Sensoren har en følsomhed på 10 ppm metan og giver øjeblikkeligt udslag.

Detektoren betjenes audiovisuelt via både lyd- og lyssignaler, der stiger i intensitet med stigende gasindhold ved detektorens sensor. Forinden screening indstilles apparatet til at nedtone et eventuelt baggrunds niveau, således at kun forhøjet indhold giver anledning til udslag.

Detektoren angiver med en farveskala visuelt hvor høj gaskoncentrationen er i et givent målepunkt, hvilket herefter benyttes til graduering af sporgastesten. Farveskalaen er som følger:

- Grønt niveau = baggrund
- Gult niveau = lettere forhøjet udslag
- Rødt niveau = forhøjet udslag

3.2.2 Fremgangsmåde

Proceduren ved sporgasundersøgelser afhænger af om undersøgelsens formål er identifikation af indtrængningsveje gennem gulvkonstruktionen eller spredningsveje til bygningens øvrige etager. Dette afsnit beskæftiger sig blot med identifikation af indtrængning gennem gulvet som testet i /3/. For proceduren vedrørende spredning videre i bygningen, se /2/.

En sporgasundersøgelse følger sædvanligvis en fire-trins procedure.

1. Gennemboring af gulv eller fundament og installation af injektionssonder samt etablering af kontrolpunkter til kontrol af gasudbredelse. Baggrundstjek i de områder der, på baggrund af den byggetekniske gennemgang, ønskes testet. Dette skal udføres for at indstille detektoren, således at falsk-positive undgås. Desuden udføres baggrundstjek af eventuelle tætningsmaterialer, som anvendes til tætning ved injektionssonder.
2. Udledning af sporgas.
3. Målinger foretages til kontrol af gasudbredelse i det ønskede område.
4. Screening med håndholdt detektor. Løbende notering af de audiovisuelle signaler på en situationsplan.

3.2.3 Forudsætning for brug

Sporgasundersøgelser kræver få forudsætninger for at de kan benyttes på en given lokalitet. Af størst betydning er, at injektionssonderne installeres i et permeabelt lag, eksempelvis et kapillarbrydende lag under betondækket. Det er nødvendigt, at sporgassen injiceres i et permeabelt lag for at gassen kan fordeles nogenlunde ligeligt under gulvet. Hvor permeabelt et sådan lag skal være, er ikke undersøgt nærmere, men det forventes ikke at metoden kan benyttes på lokaliteter, hvor et betondæk er støbt direkte på afrettede leroverflader eller andre lavpermeable jordlag (som regel ældre byggerier). Herudover er det en forudsætning, at der efter injektionen er mulighed for at kontrollere sporgassens udbredelse via kontrolpunkter, idet en uventet eller manglende udbredelse kan give anledning til at indtrængningsveje overses.

Et højtstående grundvandsspejl vil ligeledes kunne umuliggøre sporgasmålinger.

3.2.4 Fordele og ulemper

Herunder er listet de primære fordele og ulemper ved anvendelse af sporgas til identifikation af indtrængningsveje.

3.2.4.1 Fordele

Primært er sporgasmetoden en hurtig, effektiv og relativt billig måde at undersøge og detektere indtrængning af poreluft. Metoden er visuelt orienteret og indtrængningsveje konstateres omgående og meget simpelt. Der er således ikke brug for efterfølgende databehandling, men blot direkte notering på situationsplan. Man måler ikke i på forhånd udvalgte punkter, men kan undersøge hele flader med instrumentet.

Den øjeblikkelige responstid på detektorens sensor er en stor styrke for metoden, idet det giver mulighed for at føre sensoren langs med vægge, støbeskel, rørgennemføringer mm.

Sporgasundersøgelsen giver endvidere mulighed for at man løbende kan tilpasse undersøgelsen i forhold til de målinger man får.. Herved undgår man, at skulle gennemføre flere undersøgelsesrunder, hvorved feltarbejdet optimeres markant.

Idet metoden gør brug af en let gasart er der mulighed for at identificere indtrængningsveje. I det gassen har en lav densitet, vil sporgasmetoden kunne benyttes, selvom der er en nedadrettet trykgradient over fladen, der skal undersøges.

3.2.4.2 Ulemper

Der er ved måling en vis risiko for falsk-positive. Detektoren måler på uspecificerede gasarter, ikke kun den anvendte sporgas, og derfor kan kemikalier o. lign. i indeklimaet give anledning til udslag. Det er desuden observeret, at detektoren giver udslag ved vanddamp og i meget våde miljøer. Denne risiko elimineres dog ved forudgående baggrundstjek.

Metoden kræver et forudgående valg af måleområder – områder hvorunder sporgassen injiceres. Dette valg udføres som regel på baggrund af en byggeteknisk gennemgang og er ofte nødvendig for ikke at gennembore gulvkonstruktionen mere end nødvendigt (hvilket i sig selv er en ulempe). Derfor kan man også vælge at foretage en gennemboring af fundamentet i stedet for af gulvet og/eller anvende allerede udførte målepunkter i forbindelse med de forudgående forureningsundersøgelser.

3.2.5 Erfaringer

Ved sporgasmålinger detekteres ofte indtrængning gennem gulvkonstruktionen ved de i tabel 4.1 anførte konstruktionsdetaljer /2/.

Efter endt måling kan der samme dag udføres tætning af de detekterede indtrængningspunkter og efterfølgende kontrolmåling af tætheden i det tætnede indtrængningspunkt.

Sporgasundersøgelser er relativt simple og hurtige at udføre, og kan som regel udføres på én feltdag af to udførende. Afhængig af bygningens størrelse og den efterfølgende afrapportering varierer prislejet for undersøgelserne indenfor et interval på typisk 15-30.000 kr.

Hyppighed	Indtrængningspunkt
Høj	Støbeskel herunder bl.a. mellem betongulv og bærende vægge, betongulve i forskellige rum (dørtrin) mv. Ved gennemgående huller, eksempelvis ved nedboltet inventar Rørgennemføringer; vand- og varmeinstallationer Samlinger mellem betonelementer
Middel	Via hulmur gennem installationer i væggen Afproppede huller i gulve (eks. tidl. injektionspunkter)
Lav	Gennem kældervægge ved radiatorophæng, kabelføringer og tilmurede huller Ved umiddelbart intakt betongulv (kan muligvis skyldes mikrorevner og dermed svækkelse af betonens kvalitet).

TABEL 1
HYPPIGHED AF INDRÆNGNINGSVEJE FUNDET VED SPORGASMETODEN

3.2.6 Alternativt værktøj

Som alternativ til normal sporgasinjektion kan benyttes injektion af røg. En sådan røgtest kan benyttes til visuel identifikation af utætheder og foregår ved, at der injiceres røg ind under en konstruktion, som derefter siver op og ud af utætheder. Røgtest benyttes oftest i USA til membrantest for at sikre en tæt membrandækning af en konstruktion /24/.

3.3 Screening for flygtige organiske forbindelser med avanceret PID-måler

På lokaliteter med en underliggende forurening, der giver anledning til migration af flygtige organiske forureningsstoffer til indeklimaet, benyttes ofte målinger med en fintfølede PI-Detektor (fotoionisationsdetektor), til at lokalisere indtrængende forurenede poreluft. Hvor en almindelig PI-Detektor måler i ppm (10^{-6}) måler en mere følsom udgave af instrumentet i ppb (10^{-9}) og kan således detektere forureningsstoffer i luften på en meget lille skala. Avancerede PID-målinger benyttes i en række forskellige sammenhænge udover sporing af indtrængningsveje. Denne rapport omhandler imidlertid kun denne brug af udstyret.

Instrumentet er udstyret med en 10,6 eV lampe, og kan således detektere stoffer med et ioniseringspotentiale lavere end dette, eksempelvis TCE, PCE, vinylchlorid, benzen og en lang række andre stoffer.

Metoden benyttes til lokalisering af advektiv forureningsspredning til indeklimaet. Således udføres ofte en byggeteknisk gennemgang i forbindelse med screening med avanceret PID-måler.

3.3.1 Udstyr

Screening af flygtige organiske forbindelser med en ppb PID-måler er i dette projekt beskrevet med et instrument af fabrikatet ppb-RAE. Der findes andre tilsvarende instrumenter på markedet.

Ppb-RAE instrumentet benyttes direkte til screening uden forudgående opsætning. Apparatet virker ved at suge luft gennem flere filtre, der blokerer for aerosoler. Apparatet er håndholdt og batteridrevet, og målespiden er forlænget og fleksibel for måling på ufremkommelige steder.

Selve detektoren virker ved at nedbryde gasmolekylerne til positivt ladede ioner via belysning med en 10,6 eV lampe, oftest i UV spektret (afhængig af detektor). Herved bliver gassen elektrisk ladet og ionerne producerer en elektrisk strøm som output fra detektoren. Strømmen forstærkes og vises på et amperemeter.

Detektoren betjenes både ved lydssignal, såfremt gaskoncentration overstiger en vis værdi, og visuelt ved direkte aflæsning på instrumentets display. Der udføres ikke efterfølgende databehandling. Måleprocessen er øjeblikkelig og giver derved den udførende omgående besked ved forhøjet udslag.

3.3.2 Fremgangsmåde

Screening med ppb-RAE følger sædvanligvis følgende procedure, og udføres ofte i forbindelse med en byggeteknisk gennemgang.

1. Verificering af udstyret via medfølgende kalibreringsgas. Denne procedure udføres ved hver undersøgelse for at minimere målefejl.
2. Screening med den håndholdte detektor ved baggrundsmålinger i samtlige rum samt langs støbeskel, rørgennemføringer, vægge, dørtrin og andre mulige indtrængningsveje. Løbende notering af det visuelle signal fra instrumentets display på en situationsplan.

3.3.3 Forudsætning for brug

Ppb-RAE instrumentet slår ud på en lang række stoffer, der findes mange steder og som ikke er relateret til en underliggende forurening. Målingerne kan kun gennemføres, hvis der i ejendommen ikke findes høje koncentrationer af disse i indeklimaet.

3.3.4 Fordele og ulemper

Herunder er listet de typiske fordele og ulemper ved måling med avanceret PID-måler.

3.3.4.1 Fordele

Avancerede PID-målere er hurtige, simple og billige. Metoden er visuelt orienteret og eventuelle indtrængningsveje konstateres omgående. Der er således ikke brug for efterfølgende databehandling, men blot direkte notering på situationsplan.

Der måles på faktisk indtrængning af forurenede gas. Dvs. at de reelle indtrængningsveje findes.

Den øjeblikkelige responstid er af stor styrke for metoden, idet det giver mulighed for at føre sensoren langs flader, støbeskel, rørgennemføringer mm., og dermed ikke kun i på forhånd udpegede punkter.

3.3.4.2 Ulemper

Der er ved måling en risiko for falsk-positive og falsk-negative. Detektoren måler på en lang række uspecificerede stoffer og er meget fintfølsom. Måleresultater kan derfor let påvirkes af øvrige kilder til afdampning i indeklimaet, herunder afløb og kloakker, byggematerialer, maling, fugemasser mv. Desuden kan indhold af svovlbrinte give anledning til relativt høje udslag.

Måling med ppb-RAE over etageadskillelser vurderes ikke at kunne anvendes, med mindre der ses et meget forhøjet indhold af forurening i den underliggende etage. .

Det i displayet viste måleresultat ved måling med ppb-RAE instrumentet kan ikke umiddelbart anvendes til omregning til en forureningskoncentration. Målingen er relativ, forstået på den måde, at målingen giver et øjebliksbillede, afhængig af indtrængningsraten samt den underliggende kildekonzentration. Instrumentet kan således kun detektere en forurening, såfremt der i måleøjeblikket foregår en opadrettet transport af forureningskomponenter, og såfremt forureningskomponenterne transporteres via den givne transportvej. Det er derfor muligt, at instrumentet ikke giver udslag ved måling ved en gennemgående revne, selvom revnen er transportvej for poreluft til indeklima, såfremt forureningskilden ikke giver anledning til udbredelse af flygtige stoffer til netop denne revne.

3.3.5 Erfaringer

Erfaringsgrundlaget for brugen af ppbRAE-måleren knytter sig til en lang række lokaliteter, hvor der i forskelligt omfang er udtaget luftprøver på kul- og ATD rør til kemisk analyse for primært klorerede opløsningsmidler. Prøverne er ikke udtaget samtidigt, idet prøveudtagning på ATD-rør gennemføres passivt over længere tid. Det vurderes, at fluktuerende måleforhold ved måletidspunktet for ppbRAE'en er den primære årsag til afvigelser mellem målinger. Målinger med avanceret PID-måler skal derfor tolkes med forsigtighed. Som screeningsværktøj vurderes målinger med avanceret PID-måler dog at være anvendelig, men som absolut måleinstrument i indeklima bør den ikke anvendes.

Ved undersøgelser med avanceret PID-måler detekteres oftest indtrængning gennem gulvkonstruktionen ved de i tabel 4.1 anførte konstruktionsdetaljer /2/.

Effekten af en tætning med fugemasser vil ikke kunne dokumenteres med ppb-RAE målinger umiddelbart efter fugemassen er udlagt, idet disse afgiver flygtige gasser under hærdningen, som instrumentet vil slå ud på.

En screening med en avanceret PID-måler er relativ simpel og hurtig at udføre, og kan som regel udføres på én feltdag af én udførende. Afhængig af arbejdets størrelse og den efterfølgende dokumentationsrapport varierer prislejet for undersøgelserne indenfor et interval på ca. 5-15.000 kr.

3.4 Termografering

Infrarød termografi eller termisk billedbehandling, er brugen af et termografikamera til detektion af temperaturforskelle. Termografikameraer registrerer infrarød stråling af det elektromagnetiske

spektrum og skaber et billede (termogram) af denne stråling. Infrarød stråling afgives af alle objekter med temperatur over det absolutte nulpunkt. Termografi benyttes oftest til at finde utætheder/kuldebroer i klimaskærmen.

Indtrængende (kold) luft fra undergrunden afkøler konstruktionen, og formålet er visuelt at spotte nedkølingen. Metoden er undersøgt og udført af fagkyndige i forbindelse med /3/ og er desuden anvendt i /6/. Undersøgelsen har vist, at det ikke er muligt at anvende termografering til at lokalisere mindre indtrængningspunkter.

3.4.1 Udstyr

Der benyttes et termografikamera til detektion af temperaturforskelle mellem bygningsdele. Metoden er visuelt orienteret, idet kameraet giver et øjebliksbillede af konstruktionens overfladetemperatur vist med en farveskala som oftest fra gul til blå, hvor en lav overfladetemperatur registreres som blå, og hvor temperaturintervaller angives ned til $\pm 0,2$ °C.

Termografering bør udføres i vinterhalvåret med høj temperaturforskel inde/ude, hvor indtrængende luft hurtigere vil afkøle konstruktionen. Det kan dog være vanskeligt at se forskel på indtrængende luft og kuldebroer, hvorfor den udførende ofte benytter flowmåler til måling af luftens hastighed i målepunktet.

Desuden benyttes termografikamera oftest i sammenhæng med en blowerdoor. Ved installation af en sådan kan indtrængning af kold jordluft forceres, og dermed skabe optimale forhold for detektion af temperaturforskelle, hvor indtrængningen af den kolde luft finder sted.

3.4.2 Fremgangsmåde

Metoden er udført på fire lokaliteter og detaljeret beskrevet i /3/. Metoden blev udført af fagfolk. Der blev på de fire lokaliteter taget over 600 termografifotos. Metoden blev udført i sammenhæng med blowerdoor, og blev anvendt i en række forskellige tryksituationer.

Blowerdoor tests blev udført efter DS/EN 13829: Bygningers termiske ydelse, afhængig af måleudstyr og metode.

3.4.3 Forudsætning for brug

Termografering kan påbegyndes med det samme. Dog kræver metoden, at temperaturdifferensen mellem bygningsmaterialerne er markant nok til, at den kan registreres af udstyret. Termografikameraer kan ikke registrere luftens temperatur, men måler materialers overfladetemperatur. At registrere et indtrængningspunkt kræver derfor, at indtrængende jordluft er i stand til at nedkøle gulvkonstruktionen nok til at dette kan ses. Herudover kræver metoden ingen andre forudsætninger og er simpel at udføre.

3.4.4 Fordele og ulemper

Herunder er listet de typiske fordele og ulemper ved termografering.

3.4.4.1 Fordele

Termografimålinger er hurtige. Metoden er visuelt orienteret. Der er således ikke brug for efterfølgende databehandling, men blot direkte notering på situationsplan.

3.4.4.2 Ulemper

Undersøgelsen har vist, at metoden ikke kan anvendes til at detektere indtrængningspunkter.

Der er høj risiko for falsk-positive og falsk-negative, idet temperaturmålingerne er følsomme over for fugtindholdet i det pågældende objekt hvis overflade kameraet peger på. Alle materialer, specielt når det kommer til gulvkonstruktionen, er ikke nødvendigvis tørre, og fugtindholdet i elementerne

kan variere. Visse objekter viser koldere overflader ved faldende fugtindhold hvorimod andre overflader viser koldere overflader ved stigende fugtindhold /7/.

3.4.5 Erfaringer

Samtlige erfaringer er fra undersøgelserne udført i forbindelse med /3/. Samtidig med termografiundersøgelserne, blev der her benyttet en vindhastighedsmåler til at dokumentere luftstrømning gennem konstruktionen. I flere tilfælde, ved påføring af undertryk med blowerdoor, er det ved undersøgelserne blevet konstateret, at termografikameraet ikke har kunnet detektere indtrængning, selv om en betydelig luftstrømning er dokumenteret.

Baseret på undersøgelser af i alt seks bygninger af varierende stand og type, vurderes det, at termografimålinger ikke er egnede til at påvise indtrængningsveje for poreluft til indeklima. Det vurderes dog, at undersøgelsen muligvis kan benyttes i nyere, velisolerede huse, til at påvise store indtrængningsveje. Indtrængning via mindre indtrængningsveje kan ikke påvises med termografering. Selv ikke hvis der samtidig benyttes blowerdoor til kraftigt at forcere indtrængningen.

3.5 Thoronmålinger

Ligesom radon er thoron en naturligt forekommende radioaktiv ædelgas, der findes i naturen i rigelige mængder. Thoron stammer oprindeligt fra metallet thorium, der findes i en mængde på ca. 14 ppm i den danske geologi. Radon stammer fra uran som forekommer i mængder på omtrent 2-4 ppm. Metoden med thoron og radon målinger er undersøgt i forbindelse med miljøprojektet /4/, men er ikke benyttet før i Danmark. Metoden kan benyttes til lokalisering af konvektive indtrængningsveje for poreluft og er udviklet som et supplement til en traditionel undersøgelsesgennemgang. Metoden er undersøgt og beskrevet i /4/.

Formålet med metoden er at lokalisere forhøjede koncentrationer af thoron og radon ved udvalgte punkter, idet sådanne forekomster angiver aktuel indtrængning. Drivkraften for thoron og radon er advektiv transport ved det naturligt skabte relative indendørs undertryk. Metoden kræver ikke forudgående injektion eller etablering af injektions- og kontrolpunkter.

Efter frigivelse (emanation) i poreluften transporteres gasserne via poreluftstrømmen til indeklimaet under konstant henfald. Thoron har en kort halveringstid (56 sekunder) hvorfor gasarten ikke kan migrere længere afstande førend den henfalder. Derfor vil gassen kun kunne registreres i anseelige mængder i umiddelbar nærhed af et indtrængningspunkt.

3.5.1 Udstyr

Til thoron- og radonmålinger benyttes en elektronisk radonmåler, som skal kunne foretage al-faspektrometri. I forsøgene i /4/ er benyttet en DurrIDGE RAD7 Radon Detector, som er et batteridrevet instrument. Apparatet suger luft gennem flere filtre, der blokerer for vand, støv, aerosoler og radondøtre. Det yderste filter fungerer som målepunkt, og er tilkoblet en vinylslange. Dette muliggør måling på ellers ufremkommelige steder.

Detektion af gassen foregår i et internt målekammer, hvortil luft suges. Herinde henfalder radon og thoron, hvorefter de elektrisk ladede radon- og thorondøtre tiltrækkes en alfadetektor ved hjælp af et elektrisk felt. Alfadetektoren registrerer herefter energien i alfastrålingen skabt af radon- og thorondøtrenes henfald. Eftersom alfastrålingen har forskellig værdi afhængig af moderpartiklen kan detektoren bestemme oprindelsen. Selve målingen er detaljeret beskrevet i /4/. Det er dog vigtigt at pointere, at der ikke måles direkte på thoron eller radon (idet de er ædle gasarter og derfor meget vanskeligt kan registreres), men derimod på deres individuelle henfaldsprodukter, begge isotoper af polonium.

Detektoren betjenes via et lydsignal, der stiger i intensitet med stigende koncentration (som ved en geigertæller). Målingen kan aflæses direkte, men som oftest udføres efterfølgende databehandling.

Koncentrationen i et givent målepunkt benyttes til en klassificering af målepunktets indflydelse som indtrængningspunkt. Klassificeringen inddeles efter følgende 4 klasser /4/:

1. Lavt thoron indhold ($^{216}\text{Po} < 3$)
2. Lavt thoron indhold ($^{216}\text{Po} < 3$) samt forhøjet radonkoncentration
3. Thoron indhold ($^{216}\text{Po} \geq 3$)
4. Thoron indhold ($^{216}\text{Po} \geq 3$ målt ≥ 2 gange i samme punkt)

Klasserne er uddybende forklaret i /4/.

3.5.2 Fremgangsmåde

Thoronmåling følger sædvanligvis følgende procedure.

1. Referencemåling i ca. 15 min. Dette skal udføres for at tjekke baggrunds niveauet af radon og evt. thoron til senere sammenligning.
2. Udførelse af selve målingen med måling i på forhånd udvalgte målepunkter. Måling udføres over ca. 5 min i hvert målepunkt, afhængig af indholdet af thoron og radon i målepunktet.
3. Efterfølgende databehandling.

3.5.3 Forudsætning for brug

Thorium og uran (og dermed thoron og radon) eksisterer i samtlige jord- og bjergarter i Danmark. Indholdet er varierende, men vil altid overstige koncentrationen i indeklimaet. I nedenstående tabel 4.2 er angivet typiske koncentrationsintervaller for radon i nordiske jordarter (lignende findes ikke for thoron, men kan forventes at forekomme i omtrentligt samme interval).

Jordart	^{222}Rn , [Bq/m ³]
Grus	10.000 – 150.000
Sand	4.000 – 20.000
Æolisk sand-silt	1.000 – 35.000
Silt	5.000 – 60.000
Ler	30.000 – 120.000
Moræner	20.000 – 100.000

TABEL 2
RADONINDHOLD I JORD I 1 M DYBDE /5/.

Et meget højtliggende vandspejl (lige under betondækket) kan reducere indholdet af thoron og radon i den poreluft der måtte sive op til indeklimaet.

3.5.4 Fordele og ulemper

Herunder er listet de typiske fordele og ulemper i forbindelse med brug af thoronmålinger.

3.5.4.1 Fordele

Primært er thoronmåling en hurtig, simpel og billig måde at undersøge og detektere indtrængning af poreluft. Metoden baserer sig på lokalisering af en naturligt forekommende sporgas, hvorfor der ikke skal bores huller eller foretages andre ligeledes invasive indgreb. Metoden gør oftest brug af efterfølgende databehandling, men resultatet kan noteres direkte ved måling.

Idet metoden gør brug af relativ vægtning af de målte koncentrationer, vil høje koncentrationer kun oprinde fra poreluft. Både radon og thoron eksisterer i bygningsmaterialer, men slet ikke i koncen-

trationer, der vil influere på resultatet. Samtidig måles på både thoron og radon, hvilket giver en sikkerhed i resultaterne. Der er derved ikke risiko for falsk-positive.

Metoden orienterer sig omkring et lydsignal fra måleinstrumentet, hvorved det er muligt at konstatere indtrængningsveje.

3.5.4.2 Ulemper

Den største svaghed ved metoden er, at den kræver et forudgående valg af målepunkter, som oftest bestemt af en forudgående byggeteknisk gennemgang. Dermed er det ikke muligt at screene hele bygningsfladen, men kun udvalgte punkter, hvilket betyder at den tilsynsførende skal have et kendskab til sædvanlige indtrængningsveje.

Desuden giver metoden ikke øjeblikkeligt, hurtigt resultat. En måling med det almindeligt anvendte udstyr tager tid, og man har således ikke samme føling med indtrængningspunkterne som ved eksempelvis sporgasmålinger, og kan ligeledes ikke føre detektoren langs flader, støbeskel mm.

Metoden med thoronmålinger er designet til at detektere advektiv indtrængning af radon og thoron, og giver derfor ikke umiddelbart mulighed for at teste diffusiv indtrængning. Idet advektiv indtrængning sædvanligvis betragtes som den primære indtrængning, er dette dog en ubetydelig ulempe, som ofte gør sig gældende ved diverse metodikker. Metoden er afhængig af, at der sker en advektiv indtrængning af poreluft til indeklimaet, da spredning til indeklimaet ikke vil forekomme under modsatte forhold (idet thoron og radon er tungere end luft). Det er derfor nødvendigt at måle under forhold der tilgodeser dette, f. eks. ved at foretage samtidig trykdifferensmåling.

Thoronmålinger ses primært som et supplement til konventionelle redskaber og dermed ikke som en selvstændig undersøgelsesmetode.

3.5.5 Erfaringer

Ved de udførte thoronmålinger i /4/ detekteres oftest indtrængning gennem konstruktionen ved de herunder i tabel 4.3 anførte konstruktionsdetaljer. Efter måling kan udføres tætning ved de detekterede indtrængningspunkter, og en opfølgende test kan hurtigt udføres for at undersøge tætningens effektivitet. Thoronmålinger er simple og hurtige at udføre, og kan som regel udføres på én feltdag af én udførende. Afhængig af arbejdets størrelse og den efterfølgende dokumentationsrapport varierer prislejet for undersøgelserne indenfor et interval på ca. 5-10.000 kr. (for én dags feltarbejde).

Hyppighed	Indtrængningspunkt
Høj	Rørgennemføringer; teknikskabe, vand- og varmeinstallationer. Synlige skader på konstruktionen, herunder revner og huller. Støbeskel mellem betongulv og bærende vægge.
Lav	Afløb og vandlåse Ved umiddelbart intakt betongulv

TABEL 3

HYPPIGHED AF INDTRÆNGNINGSVEJE FUNDET VED THORONMÅLINGER.

3.5.6 Alternativt værktøj

Her nævnes kort metoden med radonmålinger som tracer /22/, som er en metode, der kan benyttes til at måle dæmpningsfaktorer for gulvkonstruktioner. Ved at benytte passive eller aktive radonmålinger over og under gulv kan man måle, hvor godt gulvet dæmper indtrængningen af radon. Denne

måling kan give en indikation på, hvor i en bolig der findes større eller mindre indtrængning. I rum med særlig lav dæmpningsfaktor vil der potentielt kunne ske indtrængning af poreluft fra jorden. Metoden kan ikke i sig selv benyttes til at spore indtrængende gasser fra jorden, men kan benyttes som et værktøj i sammenhæng med en byggeteknisk gennemgang. Metoden er omtalt uddybende i /22/.

3.5.6.1 Udstyr og fremgangsmåde

Kontinuerte radonmålinger over og under terrændæk udføres med samme udstyr, som der bruges til thoronmålinger, se afsnit 4.5.1. Der kan dog også benyttes simple radonmålinger, se /22/.

3.5.6.2 Fordele og ulemper

3.5.6.2.1 Fordele

Ved at logge radonmålinger over og under terræn opnås et detaljeret billede af koncentrationsforskelle for de rum proceduren udføres i. Derved er det muligt at vurdere, hvilke rum der er udsat for den største påvirkning fra en underliggende forurening, idet radon og flygtig forurening følger samme indtrængningsveje. Radon findes desuden over alt i alle jordarter og kræver derved ikke forudgående injektion af en sporgas. Se også /22/.

3.5.6.2.2 Ulemper

Undersøgelser med brug af radon fordyrer projektet. Desuden foregår radonmålinger oftest ved hjælp af datalogning og kræver derfor efterfølgende databehandling.

3.5.6.3 Erfaringer

Metoden er velkendt og har været benyttet til flere uafhængige projekter, se /22/.

3.6 Kloakmålinger

I sager, hvor en forurening giver anledning til indtrængning af flygtige forureningsstoffer til indeklimaet, benyttes kloakmålinger for at be- eller afkræfte indtrængning af forurening til indeklimaet via kloakken. Flere lokaliteter har således vist, at forurenede poreluft eller grundvand kan diffundere eller sive ind i kloaksystemet via eksempelvis utætte og perforerede kloakledninger, utætte vandlåse, samlinger, fuger og afløb. Dette kan give anledning til markant forurening af indeklimaet.

Til målinger i kloakken benyttes oftest passiv opsamling på ORSA-rør. ORSA-rørene hænges op i udvendige og/eller indvendige samlebrønde. Endvidere anvendes aktive målinger med opsamling på kulrør til måling før vandlås, over vandlås og i faldstammer.

Efter endt måling sendes rørene til analyse. De målte indhold skal ikke sammenlignes med afdampningskriterier, men kan benyttes til at vurdere, hvor de pågældende stoffer er til stede og dermed til at vurdere indtrængningsveje.

3.6.1 Udstyr

Passive langtidsmålinger af indhold af flygtige stoffer i kloaksystemet udføres på ORSA-rør. Aktive korttidsmålinger af indhold af flygtige stoffer i afløbssystemet udføres på kulrør tilkoblet en pumpe. Ved måling over vandlås udlægges en sniffermåtte, for at sikre, at det er luften umiddelbart over vandlåsen, der måles på. Efter endt måling sendes rørene til akkrediteret analyse ved et analyselaboratorium. Måleprocessen er derfor tidskrævende, idet både målingen (ved langtidsmålinger) og analyseperioden kan tage flere uger.

3.6.2 Fremgangsmåde

Måling af kloaksystem med kulrør/ORSA-rør følger normalt nedenstående procedure. Proceduren kan udføres i forbindelse med en byggeteknisk gennemgang.

1. Aktive korttidsmålinger (kulrør) over vandlås, før vandlås i toiletter samt i faldstammer
2. Passive langtidsmålinger (ORSA-rør) i samlebrønde.

3.6.3 Fordele og ulemper

Herunder er listet de typiske fordele og ulemper ved kloakmålinger med ORSA- og kulrør.

3.6.3.1 Fordele

Kloak- og afløbsmålinger med hhv. ORSA- og kulrør er billige og simple at udføre. Rørene sendes efter endt måling til analyse, hvor indholdet af udvalgte forureningskomponenter bestemmes meget præcist. Metoden giver et godt billede af, om der er potentiale for, at der kan ske en spredning af flygtig forurening fra kloak til indeklima.

Både ophængningen af rør til passiv opsamling og udførelsen af aktive målinger er hurtige at udføre, og de kan foretages i forbindelse med en byggeteknisk gennemgang.

Resultaterne anvendes til at vurdere potentialet for spredning (koncentrationen før vandlås) og selve spredningen (koncentrationen efter vandlås). Resultaterne sammenholdes med øjebliksmålinger i indeklimaet for at vurdere, om forureningskoncentrationer i luften i faldstammer/kloakrør er højere eller meget højere end i indeklimaet.

Dermed giver metoden et relativt sikkert billede af, om kloakken fungerer som indtrængningsvej.

3.6.3.2 Ulemper

Metoden kræver efterfølgende analyse af de benyttede ORSA- og kulrør, og derfor er processen mere tidskrævende end de andre listede metoder i dette kapitel. Især i forbindelse med langtidsmålinger kan processen tage flere uger, idet opsamlingsperioden her normalt sættes til 14 dage.

3.6.4 Erfaringer

Erfaringsgrundlaget for brugen af kloakmålinger knytter sig til en lang række lokaliteter, hvor der i forskelligt omfang er udtaget luftprøver på ORSA- og kulrør til kemisk analyse for primært klorerede opløsningsmidler. Her er kloakmålinger benyttet for at kortlægge, om kloakken fungerer som spredningsvej.

Måling af flygtig forurening i en kloak er relativ simpel og hurtig at udføre, og den kan som regel udføres på maksimalt én feltdag af én udførende ved korttidsmålinger. Ved langtidsmålinger kræves at arbejdet deles over to feltdage til hhv. opsætning og nedtagning af ORSA-rørene. Afhængig af antallet af målepunkter og omfanget af den efterfølgende dokumentationsrapport varierer prislejet for undersøgelserne indenfor et interval på ca. 15-20.000 kr.

3.7 Supplerende undersøgelsesmetoder

3.7.1 Trykdifferensmålinger

Trykdifferensmålinger er målinger af trykforskellen mellem to målepunkter, eksempelvis inde og ude, over og under gulv eller faldstamme og indeluft..

Det danske klima og den danske byggestil vil oftest medføre et relativt undertryk i indeklimaet i en bolig, hvorfor indtrængning af luft gennem selve bygningskroppen til indeklimaet er almindeligt forekommende. Som eksempel kan nævnes temperatur-forskelle mellem to områder, som en af de drivkræfter der giver anledning til en trykforskel.. Det relative undertryk bevirker samtidig en advektiv indtrængning af forurenende stoffer fra undergrunden til indeklimaet gennem revner, sprækker og andre utætheder.

Trykdifferensmålinger udføres bla. i forbindelse med forureningsundersøgelser for at undersøge trykforholdene på den givne lokalitet på et givent tidspunkt, oftest samtidig med, at der foretages indeklimamålinger.

Trykdifferensen er oftest lille (få Pa), og den er yderst påvirkelig for eksterne forhold. Således har meteorologiske forhold som vind og vejr stor betydning for trykforskellen i måleøjeblikket. Anvendelsen af bygningen, herunder udluftning og opvarmning, har ligeledes stor indflydelse på trykkets størrelse og dermed flowet af luft til eller fra indeklimaet. Trykdifferensmålinger er derfor et vigtigt element som supplement til forureningsundersøgelser i indeklimaet, idet målingerne beskriver, om der i et givent måletidspunkt har været en flux af gasser fra eller til indeklimaet.

3.7.1.1 Udstyr

Der findes en række forskelligt udstyr til trykdifferensmålinger. Afhængig af type og opsætning kan instrumenterne benyttes til at måle forskellige former for tryk, herunder overtryk, undertryk, differenstryk og gastryk. For at måle forskellen i tryk mellem inde og ude ved en bygning, er det nødvendigt at benytte meget følsomt udstyr, idet trykforskellen højest er ganske få pascal. Udstyret skal således kunne bestemme trykforskel mellem to punkter ned til under 1 pascals størrelse. Udstyret skal desuden have en loggerfunktion, således at udviklingen i trykdifferensen i måleperioden kan dokumenteres.

Til forsøgene i /3/ er benyttet nedenstående trykdifferensmålere for at logge trykforskellen mellem indeklima og under gulv/hulmur. Til måling af trykdifferens mellem inde og ude, er benyttet udstyr tilknyttet blowerdoor, se afsnit 4.7.2.

GMSD 2,5 MR

Instrumentet indeholder en tryksensor, der måler den piezoresistive effekt af en indbygget halvleder (strain gage). Udstyret måler forskellen i tryk mellem to målepunkter i intervallet -199,9 til 250,0 Pa. Udstyret har en måleusikkerhed på 0,1 Pa. Udstyret er nærmere beskrevet i /3/.

Micatrone MF-P

Instrumentet er en tryktransmitter, der kan måle positivt, negativt og differentieret tryk. For differentieret tryk måler udstyret forskellen i tryk mellem to målepunkter i intervallet -50 til 50 Pa. Udstyret har en måleusikkerhed på 0,5 Pa. Udstyret er nærmere beskrevet i /3/.

3.7.1.2 Fremgangsmåde

Måling af trykdifferens udføres overordnet set ved at måle på luften de to steder hvor imellem trykdifferensen skal måles. Praktisk set gøres dette, ved at føre to slanger fra instrumentet ud til hvert sit målepunkt.

Til forsøgene i /3/ er der boret gennem gulv- og vægkonstruktioner og slangerne er her ført til henholdsvis under gulv og hulmur. Efter slangerne er passende installeret, afproppes borehullerne for at undgå trykudligning mellem målestederne. Herefter kan instrumentet startes, og målingerne påbegyndes.

3.7.1.3 Forudsætning for brug

Det er nødvendigt at kende gulvkonstruktionens opbygning før man kan foretage trykdifferensmålinger mellem indeklima og under gulv. Jo bedre permeabiliteten er under gulvet, jo bedre er trykudbredelsen og ensformigheden i trykforholdene under gulvet og jo mere repræsentative målinger opnås.

Såfremt der findes gennemgående fundamenter, eksempelvis til bærende vægge, kan det være nødvendigt at foretage målinger af trykdifferensen flere steder i både indeklima og det kapillarbrydende lag. Hvis det vurderes, at det kapillarbrydende lag er uniformt i udbredelse, densitet og tykkelse, og at der er fri luftstrømning i hele laget, bør det ikke være nødvendigt med mere end ét enkelt målepunkt mellem luften i indeklimaet og under gulv. Erfaringer viser dog at dette sjældent er tilfældet. Jo flere felter det kapillarbrydende lag er inddelt i, jo flere målinger er nødvendige, for at kende de lokale trykforhold i bygningen.

Findes der forskellige gulvopbygninger vil det ligeledes være nødvendigt med flere målinger

3.7.1.4 Fordele og ulemper

Herunder er listet de typiske fordele og ulemper i forbindelse med brug af trykdifferensmålinger.

3.7.1.4.1 Fordele

Trykdifferensmålinger er hurtige at udføre og giver detaljerede resultater.

Værdien af målingerne er meget stor ved undersøgelser af risiko for påvirkning af indeklimate fra en forurening under gulv, da forudsætningerne for tolkningen af øvrige målinger i indeklimaet forbedres markant når trykforholdene er kendte.

3.7.1.4.2 Ulemper

Den primære risiko ved udførelse af trykdifferensmålinger er udstyret. Det er vigtigt, at det anvendte udstyr er i stand til at måle med høj følsomhed.

Trykdifferensmålinger foregår ved datalogning og kræver derfor efterfølgende databehandling.

3.7.1.5 Erfaringer

Trykdifferensmålinger er efterhånden hyppigt benyttet som en del af indeklimateundersøgelser på forurenede lokaliteter. Metoden giver nyttig viden om den drivkraft, der forårsager indtrængning af forurenende gasser til indeklimaet. Metoden kan ikke benyttes til at vurdere forureningsindtrængning eller -omfang, men kan anvendes som en supplerende undersøgelsesmulighed.

Det relative undertryk, der naturligt skabes i en boligs indeklimate, grundet opvarmning, vindpåvirkning mm, driver poreluft fra jorden til indeklimaet. Med poreluften trækkes gasarter, der kan forurene indeklimaet, advektivt med. Mængden af indtrængende poreluft er varierende og afhænger af gulvkonstruktionens tæthed, udførelse og den påvirkning der sker (drivkræfter).

På lokaliteter, hvor indeluften undersøges for indhold af forurenede stoffer opnås et væsentlig forbedret vurderingsgrundlag, når undersøgelserne suppleres med trykdifferensmålinger.

Trykdifferensmålinger er nødvendige som grundlag for de fleste metoder til sporing af indtrængningsveje.

3.7.2 Blowerdoor

En blowerdoor er en anordning, der installeres i en ydervægskonstruktion som substitut for en yderdør. Anordningen er, i al sin simpelhed, en tæt dør med en stor pumpe installeret i midten. Pumpen kan suge store mængder luft fra indeklimaet og ud, eller omvendt, og kan dermed skabe ændrede trykforhold i konstruktionen. I 3, 4/ er anordningen benyttet til at suge indeluft ud og dermed skabe et indendørs relativt undertryk. Ved hjælp af en tryksensor, kan det relative undertryk justeres til en konstant og kendt størrelse under testen ved at justere på luftmængden.

Metoden er et standardiseret værktøj i byggebranchen og benyttes til dokumentation af bygningers tæthed. Bygningsreglementet stiller krav til bygningers tæthed af hensyn til energiforbruget.

3.7.2.1 Udstyr og fremgangsmåde

En blowerdoor består af en tæt, kunstig dør i form af en aluminiumsramme overtrukket med en nylondug. I midten af nylondugen er monteret en pumpe (blæser), der ved at suge eller puste luft skaber et relativt overtryk eller undertryk i forhold til den fri atmosfære. Døren monteres i en eksisterende dørkarm i stedet for en eksisterende dør og betjenes via en computer. Normalt vil man udføre en serie af trykmålinger, hvorefter bygningens luftskifte og tæthed kan bestemmes.

Ved forureningsundersøgelser etableres normalt et eller flere på forhånd bestemte trykforhold (mellem inde og ude) hvorefter målinger med eksempelvis avanceret PID-måler eller thoron kan påbegyndes.

3.7.2.2 Fordele og ulemper

3.7.2.2.1 Fordele

Ved at supplere med denne metode kan indtrængningsveje spores under kendte, varierende trykforhold, så det sikres, at der er en opadrettet trykgradient over gulv, hvilket ved nogle metoder er en forudsætning for at spore indtrængningsveje.

3.7.2.2.2 Ulemper

Undersøgelser med brug af blowerdoor fordyrer projektet markant.

3.7.2.3 Erfaringer

Metoden er velkendt og meget velegnet til at simulere forskellige trykforhold. Metoden kan simulere både normale og ekstreme trykforhold, og det kan på forhånd vurderes, hvad der er ønskeligt i den givne situation. Eftersom en blowerdoor replikerer drivkraften for flygtig forurening til indeklimaet, og negligerer den normale variation, der eksisterer for denne, vil metoden give solide resultater og sikre detaljerede undersøgelser. Ved at skrue op for det indvendige relative undertryk, vil metoden desuden kunne benyttes til at påvise den maksimale påvirkning af indeklimaet fra en underliggende forurening /3/, men det er samtidig en styrke, at udstyret kan benyttes til blot at sikre et lille indendørs undertryk, som det der normalt findes i indeklimaet som følge af skorstenseffekten, se bilag 1.

Metoden er benyttet ved forureningsundersøgelser i /3, 4/.

3.7.3 Radonmålinger

Se afsnit 4.5.6 og /22/.

4. Anvendelsesmuligheder

Dette kapitel beskriver eksempler på, hvordan og hvornår de i kapitel 4 beskrevne metoder i praksis kan anvendes, enten i kombination eller hver for sig. Omfang og metodevalg afhænger af det enkelte tilfælde og af i hvor høj grad, der ønskes sikkerhed for at alle indtrængningsveje findes.

Undersøgelser til kortlægning af indtrængningsveje gennemføres, når der er konstateret en påvirkning i indeklimaet, og typisk først, når der overvejes afværge.

Undersøgelser udført inden "afværgefasen" vil variere en del i omfang og metode afhængig af videnbehovet og de praktiske muligheder. Hvad der tidligere er udført af undersøgelser, og hvad der er påvist af forurening og risici, vil have betydning for, hvilken undersøgelsesstrategi der vælges for at afdække indtrængningsvejene.

4.1 Forudgående undersøgelser (før afværge)

De forudgående undersøgelser (før afværge) gennemføres når indledende undersøgelser på ejendommen har påvist en forurening i jord-, grundvand eller poreluft, der potentielt kan udgøre en risiko for indeklimaet i bygningen.

På lokaliteter med følsom arealanvendelse vil undersøgelserne meget ofte omfatte en undersøgelse af forureningsgraden i indeklimaet ved hjælp af passive indeklimatemålinger (ORSA- eller ATD-rør). Disse udføres som langtidsmålinger over ca. 14 dage og kan suppleres med trykdifferensmålinger. Er der ved de indledende undersøgelser ikke gennemført poreluftmålinger under gulv på ejendommen, vil man også ofte udføre sådanne, eller eventuelt lave en genmåling, i forbindelse med de forudgående undersøgelser.

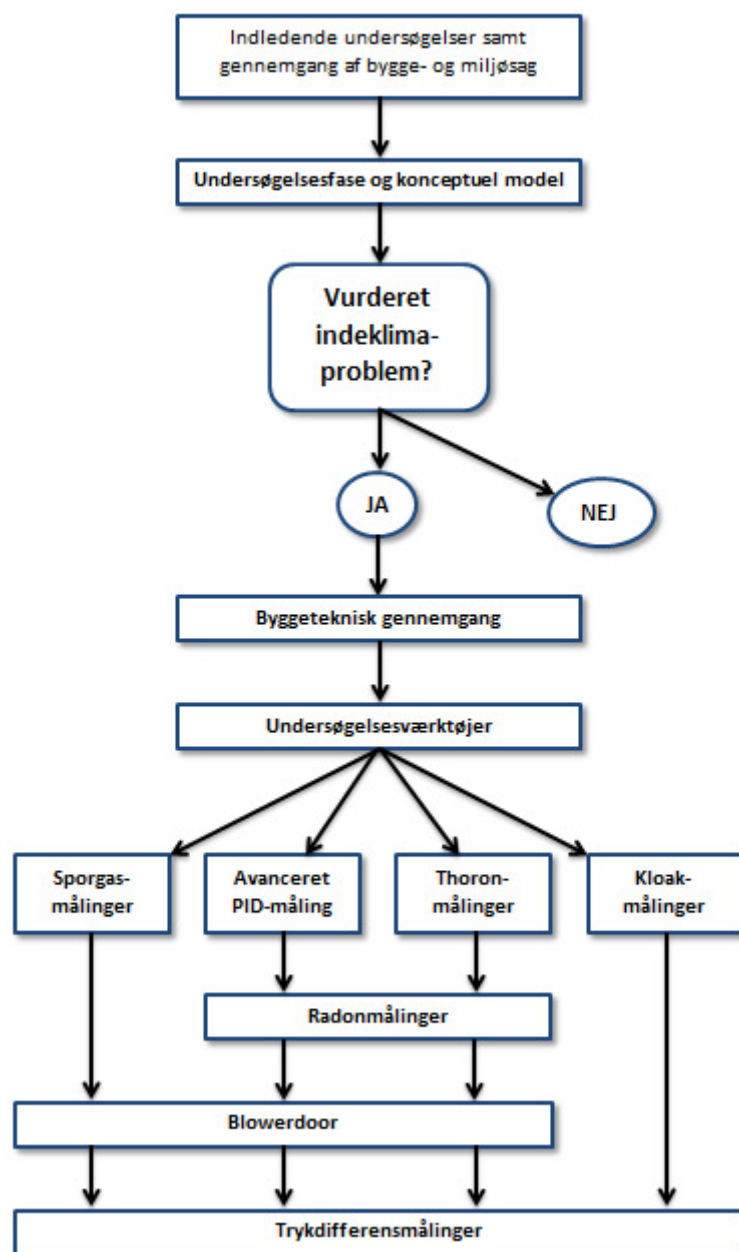
I forbindelse med de forudgående undersøgelser opstilles/opdateres den konceptuelle model endvidere. Den konceptuelle model bør indeholde relevante oplysninger fra byggesagsarkivet og besigtigelsen, viden om jordbundsforhold, grundvandsspejl, forureningskoncentrationer og -udbredelse samt indtrængningsveje fra forureningen til indeluften.

Undersøgelser til afdækning af indtrængningsveje indledes, når forudgående undersøgelser har vist, at en forurening under bygningen medfører et uacceptabelt bidrag til indeklimaet.

En god afdækning af forureningsforholdene i og under bygningen er central for de efterfølgende undersøgelser rettet mod indtrængningsveje – eksempelvis hvor befinder eventuelle hotspots sig under gulvet .

4.2 Afdækkende undersøgelser i forbindelse med afværge

Når der er påvist en uacceptabel indeklimatepåvirkning, vil der typisk være behov for mere målrettede undersøgelser før det endelige valg af specifik afværge. Her kan benyttes et beslutningstræ, jf. figur 1.



Figur 1: Beslutningstræ i forhold til valg af videre strategi efter indledende undersøgelser.

De afdækkende undersøgelser hjælper med til at kortlægge den økonomisk mest fordelagtige måde at foretage afværge på.

Undersøgelserne vil kunne be- eller afkræfte eventuelle mistanker om indtrængningsveje.

De afdækkende undersøgelser kan gennemføres på vidt forskellige måder, og valget af metode og omfang afhænger af, hvor sikker en dokumentation man ønsker sig, og hvilke indtrængningsveje der er fokus på.

- Er man interesseret i en indledende supplerende viden og kan leve med stor usikkerhed?
- Går man efter en målrettet afklaring af specifikke indtrængningspunkter, der er under mistanke?
- Sigtes der mod total kortlægning af samtlige advektive indtrængningsveje til indeklimaet?
- Er kloakken i fokus som spredningsvej?

- Skal der i kortlægningen af indtrængningsveje kunne indregnes risici opstået under særlige vejrforhold?

De afdækkende undersøgelser udføres ved hjælp af en eller flere af de i kapitel 4 listede undersøgelsesmetoder. Undersøgelserne udføres efter opdatering af den konceptuelle model samt efter udførelse af en byggeteknisk gennemgang. Metoderne er gentaget herunder.

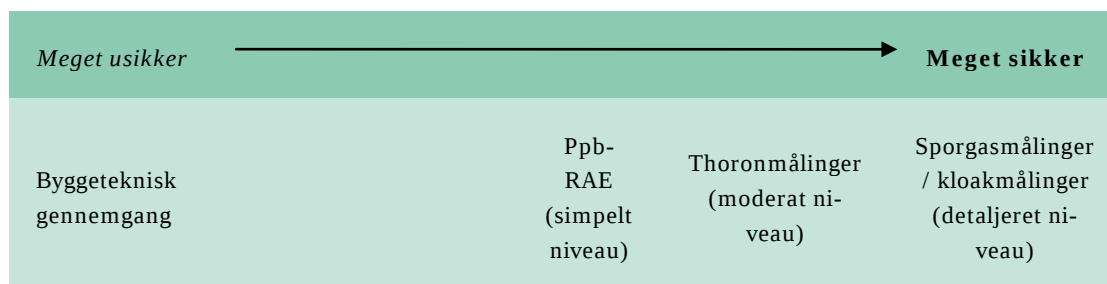
- Sporgasundersøgelser
- Avancerede PID-målinger
- Thoronmålinger
- Kloakmålinger

For at øge sikkerheden omkring de gennemførte målinger kan der evt. inddrages supplerende undersøgelsesværktøjer som trykdifferensmålinger, Blowerdoor og radonmålinger.

4.2.1 Undersøgelsesstrategi

Valg af undersøgelsesstrategi afhænger som omtalt primært af ønsket om detaljegrad og målesikkerhed i undersøgelsen. Flere metoder kan benyttes, også i kombination, for at minimere måleusikkerheden og for på sigt at drage den sikre beslutning.

Overordnet set kan de, i dette projekt præsenterede undersøgelsesmetoder, opstilles på følgende groft skitserede måde:



I forbindelse med vurdering af indtrængnings- og spredningsveje foretages undersøgelser af forskelligt omfang. Nedenfor er omfanget af forskellige undersøgelsesstrategier beskrevet.

4.2.1.1 Undersøgelsesstrategi (meget simpelt vidensniveau)

Denne undersøgelsesstrategi benyttes ofte, såfremt nedenstående er opfyldt;

- Tidligere undersøgelse har påvist en uacceptabel indeklimapåvirkning
- Der ønskes en indledende og meget simpel vurdering af indtrængningsvejene

Den meget simple undersøgelse indeholder alene en byggeteknisk gennemgang og ingen supplerende værktøjer. Det er den mest simple metode til at vurdere indtrængnings- og spredningsveje, men er samtidig også behæftet med meget stor usikkerhed, da alt baseres på visuelle iagttagelser.

Undersøgelserne er relativt hurtige at gennemføre og kræver ingen udstyr. Metoden er derfor billig at gennemføre.

Der bør altid gennemføres en byggeteknisk gennemgang inden der gennemføres undersøgelser med henblik på klarlægning af indtrængningsveje.

4.2.1.2 Undersøgelsesstrategi (simpelt vidensniveau)

Denne undersøgelsesstrategi benyttes ofte, såfremt følgende kriterier er opfyldt:

- Tidligere undersøgelse har påvist en uacceptabel indeklimapåvirkning
- Der ønskes en indledende og simpel vurdering af indtrængningsvejene

En simpel undersøgelse vil typisk indeholde en byggeteknisk gennemgang samt ppb-RAE målinger.

Avancerede PID-målinger er en simpel metode til at spore indtrængningsveje, som kan understøtte de visuelle orienteringer foretaget i den byggetekniske gennemgang. Målingerne foretages samtidig med at den byggetekniske gennemgang laves. Ved brug af ppb-RAE målinger opnås et mere sikkert grundlag, end når der alene foretages en byggeteknisk gennemgang. Falske negativer kan dog forekomme i indeklimaet ved måling med avanceret PID-måler, undersøgelsen er derfor behæftet med usikkerhed.

Undersøgelser på dette niveau er billige at gennemføre

4.2.1.3 Undersøgelsesstrategi (moderat vidensniveau)

Denne undersøgelsesstrategi benyttes ofte, såfremt følgende kriterier er opfyldt:

- Tidligere undersøgelse har påvist en uacceptabel indeklimapåvirkning
- Mistanke om advektiv indtrængning i specifikke punkter ønskes verificeret
- Der ønskes en sikker vurdering af indtrængningsvejene i enkelte punkter.
- Der findes ikke et kapillarbrydende lag på ejendommen.

Undersøgelsesstrategien på moderat vidensniveau kan desuden anvendes, hvis fysiske forhold på ejendommen gør, at det ikke er muligt at gennemføre strategien beskrevet under detaljeret vidensniveau.

En moderat undersøgelse vil indeholde en byggeteknisk gennemgang, evt. ppb-RAE målinger samt thoronmålinger og trykdifferensmålinger. Dette kan evt. suppleres med radonmålinger eller Blowerdoor.

Undersøgelsen indledes med en byggeteknisk gennemgang, der evt. suppleres med ppbRAE-målinger. Efterfølgende gennemføres thoronmålinger. Målingerne kan suppleres med trykdifferensmålinger, herved forbedres resultatet, da der opnås kontrol af, om gradienten på måletidspunktet er opadrettet over gulvet, hvilket er en betingelse for at opnå brugbare thoronmålinger. Der kan ligeledes suppleres med radonmålinger for at opnå en forståelse for gulvkonstruktionens tæthed.

En undersøgelse på moderat vidensniveau vil ofte være et tilstrækkeligt udgangspunkt for at vurdere de væsentligste indtrængningsveje, særligt i bygninger uden et kapillarbrydende lag. En undersøgelsesstrategi på dette niveau vil have omkostninger svarende til ca. det dobbelte af den simple undersøgelse. Medtages trykdifferensmålingerne eller radonmålinger, øges omkostningerne yderligere. Medtages Blowerdoor fordyres undersøgelserne væsentligt.

4.2.1.4 Undersøgelsesstrategi (detaljeret vidensniveau)

En undersøgelse på detaljeret vidensniveau igangsættes, når følgende kriterier er opfyldt:

- Tidligere undersøgelse har påvist en uacceptabel indeklimapåvirkning
- Der ønskes en tilbundsående undersøgelse af indtrængningsvejene

En undersøgelse på detaljeret vidensniveau vil indeholde en byggeteknisk gennemgang evt. suppleret med ppbRAE-målinger samt sporgasmålinger og trykdifferensmålinger. Dette kan evt. suppleres med blowerdoor eller radonmålinger.

Undersøgelsen indledes med en byggeteknisk gennemgang, der evt. suppleres med ppbRAE-målinger. Efterfølgende gennemføres sporgasmålinger.

Undersøgelser på dette niveau kan gennemføres for omkostninger som typisk vil være lidt større end til undersøgelserne beskrevet under moderat vidensniveau.

4.2.1.5 Undersøgelsesstrategi – med kloakmålinger

En undersøgelse med kloakmålinger gennemføres når:

- Der vurderes at være risiko for indtrængning via kloakken til indeklimaet.

Strategien kan tilkobles hver af de fire ovenstående strategier, der gennemføres som beskrevet i afsnit 5.2.1.1-5.2.1.4. Endvidere gennemføres målinger relateret til kloaksystemet.

Omfanget af undersøgelserne i forhold til kloaksystemet vil afhænge meget af størrelsen og kompleksiteten af systemet samt forventningen om indtrængning af forurenede poreluft eller grundvand til kloaksystemet.

4.2.1.6 Termografi

Termografi er ikke medtaget i dette kapitel, da det i /3/ er vurderet at termografimålinger, selv med assistance fra Blowerdoor, ikke giver pålidelige resultater se afsnit 4.4.

5. Sammenfatning

Den indtrængning af forurenede poreluft, der kan ske til indeklimaet på en forurenede grund, er påvirket af en række faktorer og processer. Advektiv indtrængning af flygtige forureningskomponenter kan påvises ved brug af de korrekte undersøgelsesmetoder. Valg af metoder bør altid vurderes individuelt i den givne sag og er et resultat af en vurdering af det ønskede detaljeniveau i undersøgelsen kontra et økonomisk aspekt.

Dette projekt har præsenteret en række metoder til sporing af advektive indtrængnings- og spredningsveje for poreluft til indeklimaet samt supplerende værktøjer, der kan benyttes, afhængig af ønsket detaljegrad i projektet. Disse er:

- Sporgasundersøgelser
- Avancerede PID-målinger
- Termografering
- Thoronmålinger
- Kloakmålinger

- Trykdifferensmålinger
- Blowerdoor
- Radonmålinger

- hvor sidstnævnte tre, trykdifferensmålinger, Blowerdoor og radonmålinger, er beskrevet som supplerende værktøjer.

Herunder sammenfattes projektets erfaringer kort. Uddybende forklaringer til de enkelte metoder og deres anvendelighed i kombination kan ses i kapitel 4 og 5.

Metode	God til	Anvendes
Byggeteknisk gennemgang	Alle former for undersøgelser	Som uundværligt grundlag forud for andre undersøgelser. Bør altid gennemføres, men står sjældent alene.
Avancerede PID-målinger (ppb-RAE)	Simpel undersøgelse	Ved mindre undersøgelser, hvor der blot ønskes indikationer på omfanget af den advektive indtrængning, og hvor stor usikkerhed kan tolereres. Billig metode.
Thoron	Moderat undersøgelse	Når der ønskes øget sikkerhed. Højt detaljeringsniveau er muligt ved brug af supplerende metoder og værktøjer.
Sporgas	Detaljeret undersøgelse	Når der ønskes høj sikkerhed. Meget detaljeret niveau og høj sikkerhed.
Kloak	Alle undersøgelser	Når der ønskes høj sikkerhed omkring eventuel indtrængning via kloak.
Termografi	Ikke egnet	Bør ikke anvendes.

TABEL 4
SAMMENFATNING AF UNDERSØGELSESMETODER.

Værktøj	God til	Anvendes
Trykdifferens-målinger	Alle former for undersøgelser	Generelt ofte med stor fordel. Skaber stor sikkerhed for øvrige målinger.
Blowerdoor	Moderat undersøgelse	Når der ønskes høj detaljerighed i undersøgelsen og høj sikkerhed for sporing af alle indtrængningspunkter
Radonmålinger	Moderat undersøgelse	Anvendes til at bestemme dæmpningsfaktor samt til vurdering af særligt udsatte rum.

TABEL 5
SAMMENFATNING AF UNDERSØGELSESVÆRKTØJER.

5.1 anbefalinger

Undersøgelser, der har til formål at kortlægge indtrængningsveje, bør altid igangsættes ud fra klare retningslinjer for, hvad formålet med undersøgelsen er. Her bør der derfor indledningsvis udføres/opdateres en konceptuel model over lokaliteten, hvor indsamlet viden og bl.a. geologi, forureningen og bygningskonstruktionen påføres sammen med evt. vigtige historiske oplysninger. Den konceptuelle model bør inddrages i hele processen og opdateres efter udførte undersøgelser.

På baggrund af den konceptuelle model kan man kigge på metodernes fordele og ulemper samt detaljeringsgrad, før der lægges en endelig strategi for sporing af indtrængningsveje.

Identificering af indtrængningsveje foretages når det vurderes eller er påvist at der sker en uacceptabel påvirkning af indeklimaet, og der derfor er behov for at etablere afværgeforanstaltninger til sikring af indeklimaet. Identificeringen af indtrængningsvejene foretages for at valget af afværgeforanstaltning er målrettet mod de områder, hvor der sker en indtrængning af forurening til indeklimaet samt for at sikre at man ikke senere pludseligt opdager hidtil ukendte væsentlige indtrængningsveje (eks. via kloakken, rørgennemføringer osv.).

Detaljerede undersøgelser kan endvidere overvejes, når mere simple undersøgelser ikke skaber tilstrækkeligt beslutningsgrundlag.

Såfremt der ønskes viden på et detaljeret niveau, anbefales det altid at gennemføre en byggeteknisk gennemgang, supplere denne med thoron- eller sporgasmålinger samt kloakmålinger og understøtte disse ved trykdifferensmålinger.

Det supplerende værktøj Blowerdoor kan sikre, en opadrettet trykgradient. Hvis der ikke er opadrettet trykgradient, vil flere af de beskrevne metoder ikke kunne spore indtrængningsveje, idet der i et sådant tilfælde ikke sker indtrængning. Valg af Blowerdoor afhænger af, hvilken sikkerhed man ønsker i sin undersøgelse og bør overvejes individuelt i hver sag. Blowerdoor vurderes som en god metode, hvis der ønskes stor sikkerhed for at finde samtlige indtrængningsveje.

Værktøjet radonmålinger kan benyttes til at bestemme dæmpningsfaktoren for et terrændæk og vurderes at kunne hjælpe med til at bestemme, hvilke rum i en bolig der kan være særligt udsatte for indtrængende poreluft.

Termografi anbefales ikke taget i anvendelse.

6. Referencer

- /1/ Poreluft og indeklima – Hvordan er de to koblet?
ATV's temadag d. 9. marts 2009.
- /2/ Sporgasundersøgelser til fastlæggelse af aktive transportveje til indeklimaet.
P. Loll et al., Dansk Miljø Rådgivning A/S, Miljøprojekt 1352, 2010.
- /3/ Sporing af indtrængningsveje til indeklimaet i boliger ved blowerdoor, termografi, gas-screening og sporgas.
S. Kreilgaard, M. Langeland, Grontmij, Miljøprojekt 1589, in press 2014.
- /4/ Thoronmålinger til identifikation af indtrængningsveje fra poreluft til indeklima.
J. Petersen et al., NIRAS, Miljøprojekt nr. 1453, 2013.
- /5/ Naturally Occuring Radioactivity in the Nordic countries – Recommendations.
Strålebeskyttelsesmyndighederne i Danmark, Finland, Island, Norge og Sverige, 2000.
- /6/ Erfaringsopsamling – Passiv ventilation under huse.
H. Husum et al., NIRAS, Miljøprojekt nr. 1348, 2010.
- /7/ Visual Inspection and thermography.
W. Spates, Indoor Environment Connections newsletter vol. 10, issue 5, 2009.
- /8/ Indeklimasager – strategier og gode råd til undersøgelserne.
Videncenter for Jordforurening, Teknik og Administration, nr. 3, 2010.
- /9/ Transport af gasformig forurening i umættet zone og i bygninger.
AVJ 2004.
- /10/ Poreluftprojekt – Styrende parametre for tidlige variationer af indholdet af klorerede opløsningsmidler i sand- og lerjorde. Miljøprojekt nr. 1094, 2006.
- /11/ Radon-95: En undersøgelse af metoder til reduktion af radonkoncentrationen i danske enfamiliehuse.
C. E. Andersen et al., RISØ, 1997.
- /12/ Metoder til risikovurdering af gasproducerende lossepladser.
L. Nilausen et al., Miljøprojekt nr. 648, 2001.
- /13/ DS/EN 1991-1-4:2007, Eurocode 1: Last på bærende konstruktioner – Del 1-4: Generelle laster – Vindlast.
- /14/ Relationship of soil radon flux to indoor radon entry rates.
M. Kitto, School of Public Health, State University of New York, Albany, 2002.
- /15/ Radon generation, entry and accumulation indoors.
L. Guilteras, ph.d. thesis, Universitat Autònoma de Barcelona, 1997.

- /16/ Gas Geochemistry and ^{222}Rn Migration Processes.
G. Martinelli, Servizio Cartografico e Geologico, Bologna, Italy, 1998.
- /17/ Migration of Carrier and Trace Gases in the Geosphere: An Overview. G. Etiope & G. Martinelli. Istituto Nazionale de geofisica e Vulcanologia, Rome, Italy, 2001.
- /18/ Radon i danske boliger: Mekanismer, modellering, reduktion og kortlægning.
C. Andersen, RISØ. 2003.
- /19/ Is diffusion or forced flow the main mechanism of radon infiltration into underground openings?
R. Holub & L. Killoran, US Department of the Interior, 1994.
- /20/ A study of the influence of a gravel subslab layer on radon entry rate using two basement structures.
A Robinson et al., US Department of Energy, 1993.
- /21/ Håndbog – Byggetekniske foranstaltninger i forbindelse med byggeri på forurenede lokaliteter.
Miljøprojekt nr. 1147, 2007, Miljøstyrelsen.
- /22/ Anvendelse af radonmålinger som tracer for påvirkning af indeklima fra en forurening under gulv.
J. Petersen et al., Miljøprojekt nr. 1442, 2012
- /23/ Radonsikring i nybyggeri, dokumentation og teknologiudvikling.
L. Overgaard et al., Miljøprojekt nr. 1444, 2012
- /24/ URL af januar 2014: <http://remediation.cetco.com/Left-Side-Navigation/Applications/Vapor-Intrusion-Mitigation/Smoke-Testing>

Bilag 1: Spredningsmekanismer

Dette kapitel indeholder en gennemgang af de faktorer, der er gældende for migration af poreluft og flygtig forurening til indeklimaet. Baggrunden for kapitlet er litteraturstudier i projekter omhandlende transport af miljøfremmede stoffer til indeklimaet /2,9,10,12/ samt projekter omhandlende radonindtrængning /4,5,11,14,15,16,18/.

Transport af miljøfremmede stoffer fra jorden via poreluften til indeklimaet, foregår i princippet på samme måde som transport af radon til indeklimaet, idet migrationen forventes fortrinsvis at foregå advektivt.

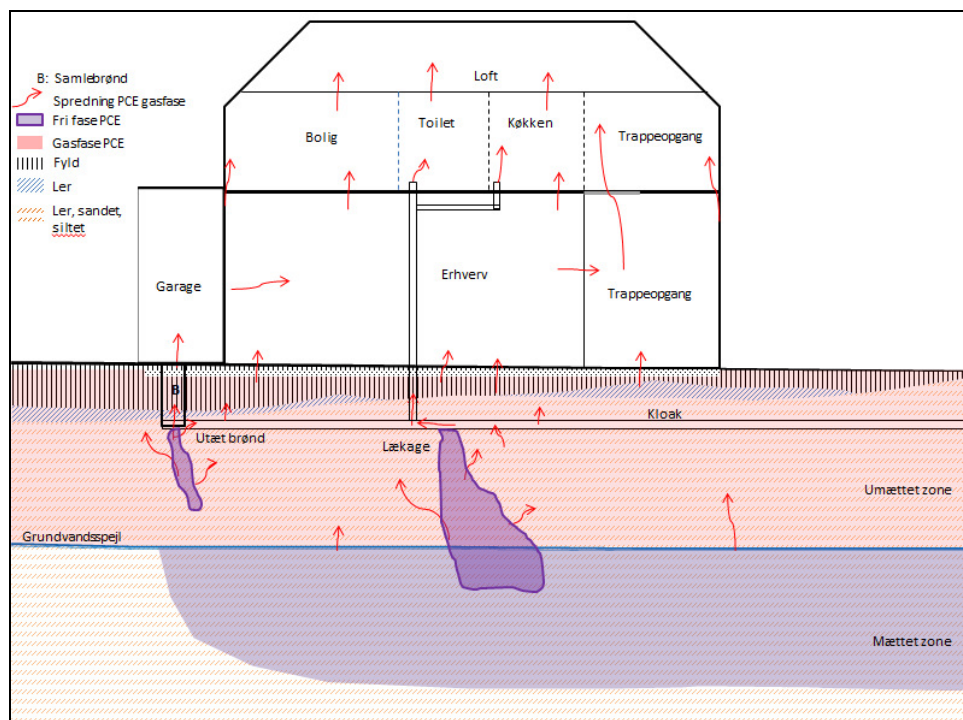
På trods af, at der dog vil være forskelle, primært pga. stoffernes forskellige fysiske og kemiske egenskaber, vil indtrængningsvejene, de tilknyttede problemstillinger og løsningsmuligheder i relation til afværge, være meget sammenlignelige og en erfaringsopsamling på tværs er derfor relevant.

Indeklimapåvirkning – hvad spiller ind?

Indtrængning af poreluft, gasformig forurening og/eller radon til indeklima, er overordnet styret af følgende faktorer og forhold:

- A. Konstruktionsmæssige forhold (tæthed mm)
- B. Størrelsen af influenszonen
- C. Drivkræfter for poreluft til indeklimaet
- D. Faktorer bestemmende for koncentrationen i indtrængende poreluft

Nedenfor omtales de udvalgte primære forhold, der spiller ind i forhold til porelufttransporten og dennes påvirkning af indeklimaet.



Figur 2: Eksempel på konceptuel model hvor indtrængnings- og spredningsveje er vist.

Gulvets tæthed

Tætheden af gulvkonstruktionen og installationsgennemføringer samt antallet af revner og utætheder i betonen har stor indflydelse på gulvkonstruktionens evne til at bremse eller stoppe indtrængende poreluft. Det er i litteraturen vist, hvordan selv meget små makrorevner tillader uhindret konvektiv transport af poreluft til indeklimate /18/ og at mikrorevner betydeligt øger den diffusive transport af eksempelvis radon gennem et betondæk /19/.

Det er desuden vist hvorledes et underliggende kapillarbrydende lag kan have stor betydning for indtrængningen, idet det konvektive poreluftsflow til indeklimate i tilfælde af et sådant lag kan øges markant /20/. Årsagen hertil er, at et kapillarbrydende lag skaber en pneumatisk kontakt mellem revner i terrændækket og revner og højpermeable lommer i jordmatricen /10, 12/.

Advektiv kontra diffusiv indtrængning

Overordnet set drives gasformig forurening og radon til indeklimate via diffusion og advektion. Ved advektiv transport agerer poreluften bæregas, idet denne strømmer konvektivt som følge af trykforhold. Poreluft er ofte atmosfærisk luft, sammensat af en række naturligt forekommende gasarter i jorden (herunder eksempelvis CO_2 , CH_4 , H_2 , N_2 og H_2S /16, 17/). Indholdet af gasformig forurening og radon i poreluften er afhængigt af henholdsvis forureningens kildestyrke, kemiske sammensætning, placering og udbredelse, og for radons vedkommende den geologiske sammensætning og beskaffenhed. Disse forhold er ikke yderligere omtalt i denne rapport, men er beskrevet indgående i /9, 15/.

Advektiv indtrængning

Advektiv indtrængning skyldes primært (A) vind, (B) indendørs-udendørs temperaturforskel (skorstenseffekt) og (C) ventilationssystemer i bygningens indeklimate.

Advektiv transport af miljøfremmede stoffer og radon til indeklimate vurderes oftest som værende den primære transportvej til indeklimate, og detektion af indtrængningen ved de i dette projekt anvendte metoder, afhænger af, at der i måletidspunktet foregår advektiv transport.

Overordnet set vil konvektiv poreluftstrømning ved trykgradienter på få pascals størrelse (som oftest er tilfældet ved trykgradienten indendørs/jord) give anledning til laminart flow, hvorfor indtrængningen kan udtrykkes ved hjælp af Darcy's hastighedsvektor q /4/.

$$L_A = \sqrt{\frac{q}{\eta \cdot \lambda}} \quad (5)$$

Hvor

L_A = advektionslængden [m]

$$q = -\frac{k}{\mu} \cdot \Delta p$$

k = gas permeabilitet for medie [m^2]

η = gas porøsitet af medie [dimensionsløs]

μ = dynamisk viskositet [$1,82 \cdot 10^{-5} \text{ Pa} \cdot \text{s}$ ved 20°C]

Δp = trykdifferens [Pa]

Diffusiv indtrængning

Diffusion i jordmatricen er kort beskrevet i afsnit 8.1.5.2. Diffusiv migration fra jord til indeklimate foregår under samme omstændigheder. Det diffusive tillæg til den samlede indtrængning afhænger af følgende forhold:

- Gulvkonstruktionens tæthed og materialeforhold
- Koncentrationsgradienten
- Stoffets diffusive egenskaber og opløselighed
- Evt. halveringstid

Eftersom transport ved diffusion afhænger af mediets permeabilitet, vil transport gennem luft være lettere end transport gennem faste stoffer. Den diffusive migration lettes således ved dannelsen af makro- og mikrorevner, der altid foregår i større eller mindre grad ved udtørring og belastning af betondækket.

Diffusiv indtrængning er beskrevet af Fick's lov, og er afhængig af koncentrationsgradienten. Den diffusive flux stiger således ved stigende koncentrationsforskelle. Herudover er diffusionen afhængig af stoffets opløselighed med mediet, og i tilfælde af diffusion af radioaktive stoffer, som eksempelvis radon, er migrationen afhængig af halveringstiden for den radioaktive isotop.

I dette projekt er det ikke nødvendigt at se nærmere på indtrængning ved diffusion, idet projektet omhandler sporing af konvektive indtrængningsveje for poreluft til indeklima. Det skal dog erindres, at diffusiv og konvektiv indtrængning optræder samtidigt og at diffusiv indtrængning ligeledes optræder gennem de konvektive indtrængnings- og spredningsveje.

Influenszone

Såfremt en grund er bebygget, vil konstruktionen medføre forandrede forhold i jordmatricen i sammenligning med den ubebyggede grund. Konstruktionen og den forudgående bygge-/anlægsfase skaber ændrede forhold i jordmatricen, ved at (A) jorden delvist udskiftes og komprimeres og forhold som porøsitet og porrestørrelse mm. ændres, (B) ændrede vandindhold i jorden, idet bygningen skærmer af for regn og nedsivning og (C) genererer en ændret trykgradient (bygninger og fundamenter skaber nye vilkår for trykudligning).

Influenszonen (el. indflydelseszonen) er det strømningsfelt rundt om og under en konstruktion, hvorfra poreluft grundet konvektion strømmer mod indeklimaet. Enhver gaspartikel indført i denne zone kan påregnes at drive med strømmen af poreluft (advektion) mod indeklimaet /10/.

Influenszonen dannes primært som følge af skorstenseffekten, men er også under påvirkning af andre faktorer som ventilation af indeklimaet (mekanisk eller passiv), vindpåvirkning af konstruktionen samt atmosfæretrykket. Næst efter skorstenseffekten er ventilation og vind begge faktorer, der i høj grad påvirker indeklimaets relative trykforhold, hvorimod atmosfæretrykket påvirker i mindre grad. De enkelte forhold er nærmere beskrevet nedenfor.

Drivkræfter

Skorstenseffekt

Skorstenseffekt (engelsk: "stack effect") er et udtryk for det relative undertryk, der dannes i indeklimaet som følge af opstigende varm indeluft. Undertrykkets størrelse er afhængig af temperaturforskellen mellem inde og ude, det atmosfæriske tryk samt konstruktionens højde, og kan beregnes ud fra flg. ligning:

$$\Delta p = C \cdot a \cdot h \cdot \left(\frac{1}{T_0} - \frac{1}{T_i} \right) \quad (1)$$

Hvor:

Δp = trykdifferens [Pa]

C = 0,0342

a = atmosfærisk tryk [Pa]

h	= højde af bygning [m]
T_o	= udendørs temperatur [K]
T_i	= indendørs temperatur [K]

Skorstenseffekten giver anledning til et samlet opadrettet flow samt udledning af den opstigende luft gennem konstruktionens tag. Skorstenseffekten kan forventes at give anledning til dannelse af et mindre relativt undertryk i indeklimaet på få pascals størrelse /10/.

Svingninger i indendørs og udendørs temperaturen vil give anledning til variationer i det relative undertryk Δp , eksempelvis som følge af variationer mellem dag- og nattemperaturer. Dette er registreret i flere radonprojekter, idet koncentrationen af radon i indeklimaet som oftest er højest i de sene nattetimer/tidlige morgentimer, hvor det er varmest indenfor og koldest udenfor /11, 14/.

Effekter grundet vind - og ventilation

Vindpåvirkning af en konstruktion giver, afhængigt af læ- og luvforhold, periodisk anledning til trykændringer i indeklimaet. Forholdende er velbeskrevet i /13/. Vindpåvirkning giver således anledning til varierende under- eller overtryk i indeklimaet, og kan derfor forventes at have tidslig indflydelse på influenszonen. Påvirkningen er naturligt nok periodisk og afhængig af vindstyrke- og vindretning.

I større bygninger, som f.eks. beboelsesejendomme, kan vindpåvirkningen give anledning til forskellige trykforhold i forskellige dele af bygningen, således at der f.eks. er større undertryk i en gavllejlighed end i en lejlighed midt i bygningen.

Ventilationsforhold i indeklimaet kan ligeledes have indflydelse på det relative undertryk i boligen, og dermed på influenszonen under boligen, afhængig af ventilationsforholdende og ventilationsmetoden. Er der uligevægt mellem tilført udeluft og afkastet indeluft ved brug af mekanisk ventilation, vil denne ulighed forplante sig i form af trykændringer. Denne påvirkning vil ligeledes være periodisk og afhængig af brugeradfærd og de specifikke installationers kapacitet og indstilling.

Effekter grundet atmosfæretryk

Ubebyggede arealer

På ubebyggede arealer vil atmosfæretrykkets have hurtig og direkte påvirkning på forurenings-/radonspredningen i de øvre jordlag i form af "direkte stempel- påvirkning". Ved højtryk presses poreluften nedad, med spredning nedad og evt. horisontalt i højpermeable zoner. I de terrænnære jordlag kan der samtidig påvises faldende indhold af forurening/radon pga. fortynding via tilført udeluft. Ved lavtrykspassager vil der omvendt i princippet ske en strømning af poreluft op mod terræn (man kan sige at luft suges ud af jorden).

Denne stempelvirkning er specielt signifikant terrænnært, men øver tillige indflydelse i dybere jordlag /9/. Stempelvirkningen er afhængig af størrelsen på den umættede zone, og forplanter sig i jorden afhængigt af bl.a. jordens porøsitet og permeabilitet /12/.

Forplantningstiden for trykudbredelsen varierer betydeligt afhængigt af den givne lokalitets geologiske beskaffenhed. Således kan en trykudbredelse over blot 1 m variere fra 0,01 s for grus op til 10 dage for ler. Jordens karakteristiske responstid τ_p kan beregnes ud fra ligningen i (2) /15/:

$$\tau_p = \frac{l_p^2}{D_p} \quad (2)$$

Hvor:

l_p	= afstanden som trykket udlignes over [m]
D_p	= $kP_a(\mu\varepsilon)^{-1}$ = diffusionskoefficient for trykforstyrrelser [m^2s^{-1}]
k	= jordens gaspermeabilitet [m^2]
P_a	= det atmosfæriske tryk [Pa]
μ	= jordens dynamiske viskositet [$\text{Pa} \cdot \text{s}$]
ε	= jordens porøsitet [dimensionsløs]

Bebyggede arealer

Trykudbredelse i jorden og dermed i bygningens influenszone kan være langvarig og atmosfæretrykkets effekt på koncentrationen af hhv. radon eller miljøfremmede stoffer i influenszonen kan være tidskrævende og er ikke nødvendigvis af øjeblikkelig betydning.

Umiddelbart kunne man forestille sig at radonindtrængning til indeklimaet, ved atmosfærisk højtryk ville være faldende, idet højtrykket vil presse radonfattig luft ned i jorden. På samme måde kunne forventes stigende indhold af radon ved lavtryk, hvor poreluft fra dybere liggende jordlag forskydes opad. Denne enten negative eller positive indflydelse på koncentrationen i de terrænnære jordlag medfører en koncentrationsændring i den tilgængelige poreluft i influenszonen.

Tilsvarende må det umiddelbart forventes, at der ved en evt. grundvandsbåren forurening, med stigende poreluftkoncentrationen i dybden ved lavtrykspassage, vil ske en opkoncentrering af forureningsstoffer i influenszonen /9/.

Påvirkningen under en bygning er dog mere kompleks sammenlignet med hvad der sker på den ubebyggede lokalitet. Lokale forhold vil have meget stor betydning for hvordan f.eks. forurenede poreluft vil transporteres under et udefra kommende hhv. høj- eller lavtryk. Forhold der spiller ind er bl.a. lokalgeologiske forhold (permeabilitet for poreluftstrømning), pneumatiske modsætningsforhold (eks. virker en sandpude et sted relativt højermeabel og andre steder lavpermeabel) placering af hotspots/radonkilder, lokale terrænnære vandlommer mm. Højtrykspassager vil således i nogle tilfælde kunne give anledning til øget tilstrømning af uønsket stof under en bygning og i andre tilfælde ikke.

Koncentration i indtrængende poreluft

Variationer i grundvandsspejlet (effekt)

En ændring i grundvandsspejlet eller terrænnære sekundære grundvandsspejl, kan ligeledes have en indflydelse på poreluftens forureningskoncentration i influenszonen, afhængig af den pågældende forurening /10/.

Både modelberegninger og målinger /10, 22, 23/ viser imidlertid, at variationer i atmosfæretryk har meget lille betydning for koncentrationen af flygtige eller radioaktive stoffer i poreluften under en bygning.

Et stigende grundvandsspejl med en grundvandsbåren forurening vil betyde en formindskelse af den umættede zone, og dermed umiddelbart en stigning i poreluftens forureningskoncentration, hvilket kan betyde, at en større mængde gasformig forurening bringes til influenszonen. Ved en forurening med fri fase beliggende over grundvandsspejlet, kan en hævnning af grundvandsspejlet imidlertid betyde, at den fri fase kilde overdækkes, og gasformig forureningsspredning vanskeliggøres. Herved vil poreluftens og dermed influenszonens forureningskoncentration forventeligt mindskes.

Lokalitetsspecifikke forhold er ikke altid velafklarede. Hvordan ovenstående spiller ind, kan derfor være vanskeligt at gisne om, men mindre der foreligger detaljerede undersøgelser.

Diffusiv migration i jordmatricen (mekanisme)

Diffusiv transport skyldes koncentrationsforskelle mellem kildeområdet og det omkringliggende og er afhængig af koncentrationsgradienten. Diffusion vil altid foregå, såfremt koncentrationen i kilden er kraftigere end i det omkringliggende, og kan beskrives via Fick's første lov:

$$F = -D \frac{\partial C}{\partial x} \quad (3)$$

Hvor:

F = diffusionsflux pr. arealenhed [$\text{mol} \cdot (\text{m}^2\text{s})^{-1}$]

D = diffusionskoefficient [m^2s^{-1}]

C = koncentrationen [$\text{mol} \cdot \text{m}^{-3}$]

x = afstanden [m]

Diffusiv gastransport vil give anledning til migration af forurening fra en nærliggende kilde, og kan herved have indflydelse på mængden af miljøfremmede stoffer til stede i gasformig tilstand i influenszonen. Diffusion er bl.a. afhængig af temperatur, og migrationen vil generelt stige med stigende jordtemperatur, som følge af hurtigere molekylebevægelser.

Metoder til sporing af indtrængningsveje for poreluft til indeklima

Der er i rapporten foretaget en beskrivelse og sammenligning af kendte og nye metoder til sporing af indtrængningsveje fra forurenede poreluft til indeklima i boliger. Dette da der ofte sker en væsentlig indtrængning af flygtig forurening via indtrængningsveje, og det derfor er vigtigt at kunne opnå et samlet billede, så en efterfølgende afværge overfor disse kan medvirke til at reducere indeklimapåvirkningen. Der gives en vurdering af fordele og ulemper ved de enkelte metoder, samt en vurdering af prisniveauet. Desuden vurderes fordelene ved kombination af de enkelte metoder, samt vigtigheden af at sikre at alle spredningsveje er afdækket inden der etableres evt. afværgeforanstaltninger. Rapporten beskriver følgende metoder: Sporgasundersøgelser, PID-målinger, termografering, thoronmålinger og kloakmålinger, samt hjælpeværktøjerne trykdifferensmålinger, blowerdoor og radonmålinger.



Miljøministeriet
Miljøstyrelsen

Strandgade 29
1401 København K
Tlf.: (+45) 72 54 40 00

www. mst.dk