

Material och metoder för sanering av kloranisoler

Julia Björkman

Examensarbete för byggnadsingenjörs (YH)-examen

Byggnads- och samhällsteknik

Vasa 2024

EXAMENSARBETE

Författare: Julia Björkman
Utbildning och ort: Byggnads- och samhällsteknik, Vasa
Inriktning: Konstruktionsplanering
Handledare: Jukka Huttunen (IdeaStructura Oy)
Anders Borg (Novia)

Titel: Material och metoder för sanering av kloranisoler

Datum: 13.5.2024

Sidantal: 76

Bilagor: 1

Abstrakt

Klorfenolbaserade produkter användes i många länder under 1930–2000-talen eftersom de var effektiva skydd för fuktutsatta byggnadsdelar. Användningen var stor under 1950–1970-talen och det man inte visste då, var att när klorfenoler utsätts för fukt och mikrober bildas kloranisoler. Kloranisoler orsakar en obehaglig lukt inomhus. Lukten är svår att sanera och därför har detta examensarbete skrivits om kloranisoler med fokus på saneringslösningar.

Uppdragsgivaren för examensarbetet är företaget IdeaStructura Oy, som önskade en utredning över saneringsmöjligheter för klorfenoler och kloranisoler i byggnader. Syftet med examensarbetet var att utreda vilka metoder och material som är lämpliga för sanering och i fördjupningen utreddes även allmänna reparationsmetoder för fukt- och mikrobskadade byggnader. Som metoder fungerade intervjuer med sakkunniga och litteraturstudier i form av tidigare undersökningar, rapporter och pålitliga webbsidor.

Resultatet av examensarbetet är en tydlig tabell, där alternativa saneringsmöjligheter samt deras fördelar och nackdelar beskrivs. Tabellen kan användas vid val av saneringsmetod. I resultatkapitlet finns också en sammanfattande text över reparationsmetoder för byggnader med fukt- och mikrobskador.

Språk: svenska

Nyckelord: klorfenol, kloranisol, mögel, fukt, sanering

OPINNÄYTETYÖ

Tekijä: Julia Björkman
Koulutus ja paikkakunta: Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka, Vaasa
Suuntautumisvaihtoehto: Rakennesuunnittelu
Ohjaajat: Jukka Huttunen (IdeaStructura Oy)
Anders Borg (Novia)

Nimike: Materiaalit ja menetelmät kloorianisolien korjaukseen

Päivämäärä: 13.5.2024

Sivumäärä: 76

Liitteet: 1

Tiivistelmä

Kloorifenolipohjaisia tuotteita käytettiin monissa maissa 1930–2000-luvuilla, koska ne suojasivat tehokkaasti kosteudelle alttiita rakennusosia. Niitä käytettiin laajalti 1950–1970-luvuilla ja silloin ei tiedetty, että kun kloorifenolit altistuvat kosteudelle ja mikrobeille, kloorianisoleja muodostuu. Kloorianisolit aiheuttavat epämiellyttävän hajun sisätiloissa. Hajua on vaikea korjata, ja siksi tämä opinnäytetyö on kirjoitettu kloorianisoleista keskittyen puhdistusratkaisuihin.

Opinnäytetyön tilaaja on yhtiö IdeaStructura Oy, joka halusi selvityksen kloorifenolien ja kloorianisolien kunnostusmahdollisuuksista rakennuksissa. Opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää mitkä menetelmät ja materiaalit soveltuvat korjaukseen ja opinnäytetyön syventämisessä tutkittiin myös yleisiä korjausmenetelmiä kosteuden ja mikrobin vaurioittamissa rakennuksissa. Menetelminä käytettiin asiantuntijahaastatteluja ja kirjallisuustutkimuksia aiempien tutkimusten, raporttien ja luotettavien verkkosivujen muodossa.

Opinnäytetyön tuloksena on selkeä taulukko, jossa kuvataan vaihtoehtoisia korjausmahdollisuuksia ja niiden etuja ja haittoja. Taulukkoa voidaan käyttää korjaustapaa valittaessa. Tulosluvussa on myös yhteenveto kosteus- ja mikrobivaurioituneiden rakennusten korjausmenetelmistä.

Kieli: ruotsi

Avainsanat: kloorifenoli, kloorianisoli, home, kosteus, korjaus

BACHELOR'S THESIS

Author: Julia Björkman
Degree Programme: Construction Engineering, Vaasa
Specialisation: Structural Engineering
Supervisors: Jukka Huttunen (IdeaStructura Oy)
Anders Borg (Novia)

Title: Materials and Methods for Remediation of Chloroanisoles

Date: 13.5.2024

Number of pages: 76

Appendices: 1

Abstract

Chlorophenol-based products were used in many countries in the 1930–2000 centuries because they were effective protectors of construction parts exposed to moisture. They were widely used in the 1950s–1970s and what was unknown then was that when chlorophenols are exposed to moisture and microbes, chloroanisoles are formed. Chloroanisoles cause an unpleasant odor indoors. The odor is difficult to remediate and that is why this bachelor's thesis has been written about chloroanisoles focused on remediation solutions.

The client of this thesis is a company called IdeaStructura Oy, who wished to get an investigation of remediation solutions for chlorophenols and chloroanisoles in buildings. The purpose of the thesis was to investigate the methods and materials suitable for remediation and in the in-depth part of the thesis were also general remediation solutions for buildings, damaged by moisture and microbes, investigated. The methods used were interviews with experts and literature studies in the form of previous studies, reports, and reliable websites.

The result of the thesis is a clear table describing alternative remediation options and their advantages and disadvantages. The table can be used when choosing a remediation method. The result chapter also contains a summary of remediation methods for buildings with moisture and microbial damage.

Language: Swedish

Key words: Chlorophenols, Chloroanisoles, Mold, Moisture, Remediation

Innehållsförteckning

1	INLEDNING	1
1.1	Uppdragsgivare	1
1.2	Syfte och målsättning	1
1.3	Metoder och avgränsning	3
2	KLORFENOLER.....	4
2.1	Användningsområden för klorfenoler	5
2.2	Klorfenoler omvandlas till kloranisoler	8
3	KLORANISOLER	9
3.1	Lukten av kloranisol	12
3.2	Hälsoeffekter	14
3.2.1	Samband mellan klorfenoler och hälsoproblem	15
3.2.2	Kloranisollukten tros framkalla psykosomatiska sjukdomar	15
3.2.3	Klorfenoler samt deras biprodukter anses vara cancerframkallande..	16
3.3	Kloranisoler i livsmedelsindustrin och miljön	17
4	KLORFENOLANVÄNDNING I OLIKA LÄNDER.....	18
4.1	Klorfenol i Sverige	19
4.2	Klorfenol i Finland.....	21
4.3	Klorfenol i Danmark	24
4.4	Klorfenol i Norge	24
4.5	Klorfenol i Tyskland.....	25
5	ORSAKER TILL ATT KLORFENOLER TIDIGARE FÖRBISÅGS	28
6	FUKT- OCH MIKROBSKADADE BYGGNADER.....	29
6.1	Skador i specifika byggnadsdelar	31
6.1.1	Bottenbjälklag mot mark.....	31
6.1.2	Bottenbjälklag mot kryppgrund.....	32
6.1.3	Ytterväggar	32
6.1.4	Vindsbjälklag och vattentak	33
6.1.5	Mellanbjälklag	34
6.2	Reparationsmetoder.....	34
6.2.1	Torkning	35
6.2.2	Slipning eller byte av skadat material.....	35
6.2.3	Inkapsling.....	36
6.2.4	Justering av tryckförhållanden	37
7	MÄTNINGAR OCH ANALYSER AV KLORANISOLERS OCH KLORFENOLERS FÖREKOMST	39
8	LUKTSANERING OCH LUKTKONTROLL FÖR BYGGNAD MED KLORANISOLER ..	42
8.1	Luktsanering i form av byte av skadat material	43

8.2	Luktkontroll	45
8.2.1	Avfuktare, undertrycksfläkt och fotokatalytisk luftrenare	45
8.2.2	Ventilation.....	47
8.2.3	Tätning av luftläckage	48
8.2.4	Spärrfärg och saneringsvätska.....	49
8.2.5	Spärrskikt.....	50
8.2.6	Smarta ångbromsar av polyamid.....	50
8.2.7	Matta av aktivt kol, cTrap.....	54
8.2.8	Saneringsmetoder i prefabricerade hus.....	58
8.2.9	Cyklodextrin-gel samt plasmateknologi.....	63
8.2.10	Sanering i en byggnads klimatskal	64
9	RESULTAT	67
10	DISKUSSION.....	70
11	KÄLLFÖRTECKNING.....	72

BILAGA 1: Saneringsmetoder för klorfenoler och kloranisoler

1 INLEDNING

I Finland användes klorfenolbaserade produkter mellan åren 1930–2000 för att skydda byggnader mot fukt och röta. När klorfenoler utsätts för mikrober och fukt bildas kloranisoler, vilka för med sig en obehaglig lukt inomhus. I detta examensarbete behandlas olika material och metoder för sanering av klorfenoler och kloranisoler. Det första kapitlet omfattar beskrivning av uppdragsgivaren, examensarbetets syfte och mål samt metoder och avgränsningar.

1.1 Uppdragsgivare

Som uppdragsgivare för mitt examensarbete fungerade IdeaStructura Oy. IdeaStructura Oy är ett företag med kärnkompetenser inom konstruktionsplanering, byggnadsfysik och inomhusluftsteknik. Konstruktionsplaneringen innefattar såväl nybyggnader som sanering och till tjänsterna hör bland annat elementplanering, beräkningar och 3D-modellering. Därtill har också företaget tjänster inom exempelvis arkitektplanering, konditionsbedömningar, projektledning, kvalitetsgranskning och övervakning. Företagets tjänster är främst riktade mot fastighetsbranschens yrkesmän och mot husbolag.

Från att vid grundandet år 2011 ha varit ett litet företag med fem anställda, har IdeaStructura Oy idag över 100 anställda. Som verkställande direktör fungerar Jyrki Jalli och det finns sammanlagt 16 delägare i företaget. Omsättningen ligger för tillfället kring 9,4 miljoner euro. Idag har företaget kontor i Helsingfors, Tavastehus, Joensuu, Karleby, Kuopio, Nyslott, Tammerfors och Åbo. Redan från början har verksamhetsprinciperna varit personalens självstyrning och pålitlighet. Företagets verksamhetsidé är att planera och utveckla hållbara byggnader med lång livslängd. Planering görs noggrant och detaljrikt för att uppnå god kvalitet, energieffektivitet och också för att underlätta arbetet på byggarbetsplatsen. (IdeaStructura Oy, u.å.).

1.2 Syfte och målsättning

Mitt examensarbete fungerar som en fördjupning av en del av ett annat examensarbete som också gjorts åt företaget IdeaStructura Oy. Det examensarbetet är skrivet år 2017 av Mette Envall och går under titeln *Inomhusluftsproblem orsakade av kloranisoler*. Där

undersöker hon bland annat olika saneringslösningar med laborietester. Mitt arbete går i stort sett ut på att fördjupa mig i saneringslösningarna som hon beskriver samt vidare ta reda på vilka andra saneringslösningar som används mot kloranisoler. (Envall, 2017, s. 2).

I första delen av examensarbetet går jag igenom vad klorfenoler samt kloranisoler är och bakgrunden till problemen med dem. Jag tar även upp klorfenolanvändning i några olika länder. Fördjupningen handlar om reparationsmetoder för fukt- och mikroskadade byggnader samt särskilt om reparationsmetoder för byggnader med klorfenoler och kloranisoler. Det egentliga syftet med detta examensarbete är att ta reda på vilka material och metoder som lämpar sig för luktsanering och luktkontroll av den ukna lukt som kloranisolerna orsakar. Det finns endast lite skrivet om klorfenoler och kloranisoler, särskilt i Finland, trots att de är utbredda problem idag. Saneringsmetoder är ännu mindre behandlade och däri ligger behovet för detta arbete.

Målsättningen med examensarbetet är att få fram vilka metoder och material som används för att stoppa de kemiska ämnena och luktsens spridning, så att det finns medvetenhet om vilka alternativ som kan användas vid sanering. Resultatet är en översikt samt sammanfattning över möjliga saneringsmetoder och -material. Där beskrivs de kort samt även deras fördelar och nackdelar.

För att uppnå målen med examensarbetet har följande forskningsfrågor valts:

1. Vilka reparationsmetoder finns för fukt- och mikroskadade byggnader?
2. Vilka material och metoder lämpar sig för luktsanering och luktkontroll av klorfenoler och kloranisoler?
3. Vilka för- och nackdelar finns det med de olika reparationsmetoderna för klorfenoler och kloranisoler?

1.3 Metoder och avgränsning

Metoderna för att ta fram dessa fungerande konstruktionslösningar var litteraturstudier och personlig kommunikation genom intervjuer via e-post och distansmöten. Flera av källorna som använts, har rekommenderats av intervjuobjekten. De främsta källorna för litteraturstudierna var elektroniska och de som tillförde den centrala informationen till detta arbete var forskningsrapporter, undersökningar, artiklar samt pålitliga företags hemsidor.

Information inhämtades via personlig kommunikation hos aktuella aktörer och företag. Information fick från flera företag i Finland och Sverige, en forskare i Sverige samt en forskare i Tyskland. Intervjuerna hölls via distansmöten och e-post. Via e-post delade intervjuobjekten också med sig av övrig kunskap i ämnet och gav tips på källor.

Fokuset låg på länderna Finland, Sverige och Tyskland. Källornas språk var därför finska, svenska, tyska och engelska. I Tyskland har man hunnit längst med att ta fram analyser och gränsvärden för godkända kloranisolhalter och i Sverige är man idag relativt öppna med problemen som kloranisolerna orsakar. Därför hittas bäst information från dessa länder. Många andra länder har varit slutna om användningen av klorfenoler, även om användningen även i de länderna är trolig. Länderna Norge och Danmark beaktades i liten skala i detta examensarbete.

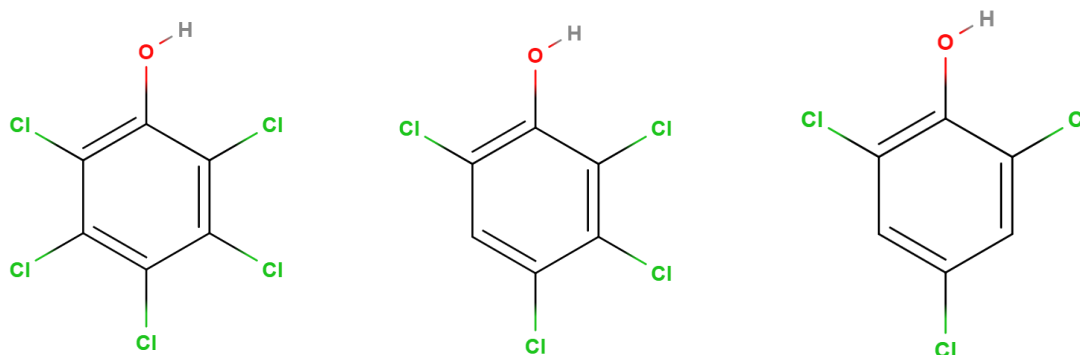
Klorfenoler förekommer i marken, grundvatten, ytvatten och atmosfären. För att avgränsa mitt arbete har jag inte fokuserat mycket på klorfenoler samt kloranisoler i naturen och vatten, utan främst föreningarnas förekomst i byggnadsmaterial och inomhusluft. Jag har inte heller lagt så stort fokus på provtagningsätt samt -analyser och godkända koncentrationer. I källorna som jag har använt mig av, finns det relativt många separata undersökningar om olika saker gällande kloranisoler, exempelvis igenkänning av lukten, men dessa har jag inte fokuserat på.

2 KLORFENOLER

Klorfenoler är kemiska föreningar som fås genom halogenering av fenol med klor (Andersson, 2022a). I klorfenoler är en eller flera väteatomer i bensenringen ersatta med kloratomer, enligt Nationalencyklopedin. Högtoxiska biprodukter bildas vid framställning av klorfenol. Ju mer koncentrerad klorgas, desto mer högtoxiska biprodukter bildas i processen. (Andersson, 2022a). Vid tillverkning av klorfenol bildas polyklorerade dioxiner och dibensofuraner, vilka båda kan gå under samlingsnamnet dioxiner (Blomqvist & Jermer, 2008, s. 9). Dioxinerna bildas genom att det hos en liten del av klorfenolerna sker en reaktion mellan dem och då bildas tvåringsstrukturer med klor (Blomqvist & Jermer, 2008, s. 21). Hur många kloratomer samt var de placerar sig, påverkar dioxinernas giftighet (Blomqvist & Jermer, 2008, s. 10). Biprodukterna blir kvar i den slutliga produkten av klorfenol (Andersson, 2022a).

Dioxiner är en stor grupp av ämnen. De uppstår vid ofullständig avfallsförbränning samt vedeldning eller också kan de spridas naturligt i händelse av vulkanutbrott eller skogsbränder. En del av dioxinerna är mycket giftiga. (Sveriges vattenmiljö, u.å.). De löser sig dåligt i vatten, har lågt ångtryck och är uthålliga föroreningar som kan sitta kvar i behandlat virke länge (Blomqvist & Jermer, 2008, s. 9). Dioxinhalten i träprodukter sjunker hela tiden, men det sker mycket långsamt. (Blomqvist & Jermer, 2008, s. 3).

Totalt finns det 19 olika varianter av klorfenoler och vanligt förekommande i behandlat trävirke i Sverige är varianterna 2,4,6-triklorfenol, 2,3,4,6-tetraklorfenol och pentaklorfenol (figur 1) (Lorentzen, Juran, & Johansson, 2016). Pentaklorfenol är ett klorderivat som består av fenol och fem kloratomer, vilka är sammanfogade med en bensenring (Palm, Sternbeck, Remberger, Kaj, & Brorström-Lundén, 2002, s. 10). Tetraklorfenol och triklorfenol är mindre klorerade varianter av klorfenol (Lorentzen m.fl. 2015). I analyser av pentaklorfenol har det framgått att den innehåller mer högtoxiska ämnen än varianterna triklorfenol och tetraklorfenol (Andersson, 2022a).



Figur 1: Den kemiska strukturen hos tre vanliga klorfenoler. Från vänster: pentaklorfenol med fem kloratomer, tetraklorfenol med kloratomer på plats 2, 3, 4 och 6 i bensenringen samt triklorfenol med kloratomer på plats 2,4 och 6 i bensenringen.

2.1 Användningsområden för klorfenoler

Träkonstruktioner i krypprunder och vid platta på mark är speciellt utsatta för fukt och röta (Lorentzen J. , Juran, Ernstgård, Olsson, & Johanson, 2020). På grund av efterfrågan av att förhindra fuktens framfart började kemiska metoder användas under början och mitten av 1900-talet (Lorentzen m.fl. 2020; Andersson, 2022a; Lorentzen, Harderup, & Johanson, 2023). Klorfenoler användes för konstruktioner som utsattes för markfukt (figur 1) och för konstruktioner inomhus med stora fuktbelastningar (Ekberg, 2021, s. 1; Korkalainen & Rantakokko, 2022, s. 1). Klorfenoler marknadsfördes först i USA och fick snabbt en bred användning på grund av att tillverkningen av dem var billig och klorfenolerna fungerade som skydd mot mögel och insekter (Lorentzen m.fl. 2024). De började användas i träskyddsmedel redan på 1930-talet i Finland och på 1950-talet i Sverige. Under 1960–1970-talen användes de flitigt under en så kallad byggboom, som ägde rum speciellt i Sverige och Danmark. (Lorentzen, Harderup, & Johanson, 2023).

Klorfenolbehandlade träprodukter har främst använts för huskompletteringar, såsom staket och altaner, samt som konstruktionsvirke (Blomqvist & Jermer, 2008, s. 3). Träskyddsmedel med innehåll av klorfenol har använts för att förebygga mögel, ruttet trä och blånande (Sisäilmäyhdistys ry, 2019, s. 407). Blånad beskrivs enligt Nationalencyklopedin som missfärgat virke till följd av svampangrepp. Klorfenol förekommer oftast i syll mot plintgrund, kryppgrund (figur 2) eller i väggreglar ovanför platta på mark. I vissa fall har man även impregnerat takstolar, stockarna i ett timmerhus och fönsterkarmar. Det användes också i färger för att förhindra angrepp av skadeinsekter och rötsvamp och därför kan det hittas i såväl fasadpanel utomhus som på ytor inomhus.

Impregnering har därtill setts förekomma på terrasser, garage och ekonomibyggnader. (Andersson, 2022a). Vid en stor vetenskaplig undersökning av flera skolor hittades klorfenoler speciellt i syllar. Man upptäckte klorfenoler också i takkonstruktioner, fönster, golv, karmar, panel utomhus, limträ och trä ovanpå betong. (Lorentzen m.fl. 2015).



Figur 2: Behandlad syll, ljusbrun, samt behandlad takpanel, grön, i krypgrund. (Lorentzen m.fl. 2024).

Impregnering med pentaklorfenol kunde ske genom doppning i ett bad av vätskan, ifall impregneringen skulle vara extra noggrann (Andersson, 2022a). Doppning ansågs vara en god metod av träskydd mot svampangrepp vid transport och lagring (Blomqvist & Jermer, 2008, s. 15). Andra mindre skyddande alternativ var sprayning och pensling (Andersson, 2022a). Klorfenoler övergår inte så enkelt till gasform och fäster sig därför som förorenade källor i träkonstruktioner till följd av impregnering. Föroreningarna finns kvar under mycket lång tid. (Fraunhofer Institute for Building Physics IBP, 2024).

Klorfenoler räknas som ett av världens mest använda träskyddsmedel. I Kanada och USA används pentaklorfenol fortfarande för att impregnera ledningsstolpar. Preparat av klorfenol används åtminstone inte längre i länderna Australien, Frankrike, Chile, Brasilien, Malaysia och Sydafrika. (Blomqvist & Jermer, 2008, ss. 19–20).

Användning av pentaklorfenoler

Ju högre grad av klor i klorfenol, desto bättre är också de träskyddande och bakterieförhindrande effekterna hos den kemiska föreningen. Därför har pentaklorfenol,

med sin starka klorhalt, ansetts vara en mycket effektiv klorfenol och har använts i stor utsträckning för att motarbeta blånadssvampens och rötsvampens framfart i konstruktioner. (Andersson, 2022a).

År 1930 hade experiment med olika kemiska ämnen lett till att man började tillverka pentaklorfenol. Under 1940 och 1950 användes pentaklorfenol som impregnering och var viktig för byggindustrin, speciellt i USA. Kunskapen spreds också till andra länder och exempelvis i Sverige användes pentaklorfenol inom sågverksindustrin. Vid sågning har spån bildats som biprodukt och använts vid tillverkning av spånskivor. (Andersson, 2022a). Spån har även använts som värmeisolering (Pitkäranta, 2016, s. 75). Därav kan spånskivor och isolering också innehålla klorfenoler (Pitkäranta, 2016, s. 75; Andersson, 2022a).

Pentaklorfenol användes inom träindustrin för att förebygga att nytt trä färgades av svampar och det användes även för att behandla trä som redan var infekterat av svampar (Yadav, Kumar, & Haritash, 2023). Klorfenoler har också använts i läkemedel och färgämnen, till och med i inomhusfärger (Yadav, Kumar, & Haritash, 2023; Lorentzen m.fl. 2023). Produkter med innehåll av pentaklorfenol användes också för att motverka alger, ogräs, insekter, bakterier och sniglar (Lorentzen m.fl. 2015).

Pentaklorfenol har även nyttjats i viss mån för att impregnera textilier såsom tält och presenningar. Fenolen används ännu på flera håll i världen och kan föras vidare till andra länder genom import av exempelvis textilier. I många u-länder, exempelvis Indien och Kina, används den inom just textilbranschen samt också som träskyddsmedel. (Palm m.fl. 2002, ss. 5, 13, 17).

Möjliga spridningsvägar för pentaklorfenol är gamla anläggningar för impregnering, pappersindustrier var man bekämpat slembildning av pappersmassa med pentaklorfenol, textilindustrier, byggavfall och anläggningar för förbränning. I förbränning eller andra processer där klorgas används, kan pentaklorfenol bildas som biprodukt. (Palm m.fl. 2002, s. 19–20). Från behandlade träreglar avlägsnas pentaklorfenol med tiden och absorberas i stället i omkringliggande material (Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie, u.å.). Den kan också samlas i damm när den avges från konstruktioner (Renopan - Fertighaus-Sanierung, u.å.b).

2.2 Klorfenoler omvandlas till kloranisoler

Klorfenoler kan avges till inomhusluften direkt från trävirke som är behandlat, men de kan också omvandlas till kloranisoler av mikrober (Lorentzen m.fl. 2016). Klorfenoler omvandlas till kloranisoler i närvaro av mögel, i form av svampar eller bakterier. Dessutom krävs det vid omvandlingen också lämpliga tillväxtförhållanden, till exempel tillräcklig fuktighet. (Ekberg, 2021, s.1). Trots att träskyddsmedel med innehåll av klorfenol är mycket giftigt, är det möjligt för mögel och bakterier att växa där eftersom de är väldigt anpassningsbara (Andersson, 2022a). När klorfenoler omvandlas till kloranisoler uppstår en obehaglig lukt och detta medför inomhusluftsproblem (Ekberg, 2021, s.1).

Många typer av svampar och mögelsporer växer i vår naturliga miljö. För att svampar ska kunna växa på byggnadsmaterial, krävs vattenaktivitet. Vattenaktivitet kan i detta fall definieras som en jämvikt mellan luftens relativa fuktighet och byggnadsmaterialets fuktighet. Förutom mögeltillväxt, kan vattenaktivitet i byggnadsmaterial också orsaka att eventuella klorfenoler omvandlas till kloranisoler. Hur snabbt svamparna växer beror på svampens egenskaper och byggnadens temperatur. Svamparna växer bättre om de utsätts för gynnsamma förhållanden under en längre tid. Två starka svamparter som förekommer på konstruktioner av trä och som fungerar som bakteriekälla för att omvandla klorfenoler till kloranisoler är *Aspergillus versicolor* och *Paecilomyces variotii*. Svamparten *Aspergillus versicolor* är mycket vanlig i byggnader och förekommer framför allt i betong, gips och trä. Svamparten *Paecilomyces variotii* förekommer i sin tur främst i trä och faner. (Ekberg, 2021, s. 1). Mögelsvamparna *Trichoderma*, *Penicillium chrysogenum*, *Penicillium variable* och *Chaetomium globosum* är ofta också mycket inblandade när klorfenoler omvandlas till kloranisoler (Gunschera m.fl. 2005, s. 2154; Maraun, Pfeil, & Unger, 2015). Dock är det viktigt att komma ihåg att materialfukten, som bidrar till bildande av kloranisoler, inte bidrar till bildande av svampar som förstör trävirket (Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie, u.å.).

I en nyligen publicerad rikssvensk rapport beskrivs undersökning av två skolor som byggdes på 1960- och 1970-talen. Dessa skolor hade inomhusluftsproblem och tidigare hade man med analyser konstaterat förekomst av klorfenoler samt kloranisoler. I den nya undersökningen togs materialprov från kryppgrundens syll och takkonstruktion. Man kunde inte se synligt mögel på träproverna, men vid mikroskopering visade sig alla prov innehålla en viss del mögel. Mängden mögel varierade, men var ändå mycket liten i de flesta proven.

Efter utförd undersökning ansågs att mängden mikroskopiskt mögel i proven har ett nära samband med provens luktintensitet. Hos prov med högre mögeltillväxt, kunde lukt konstateras. (Lorentzen m.fl. 2024).

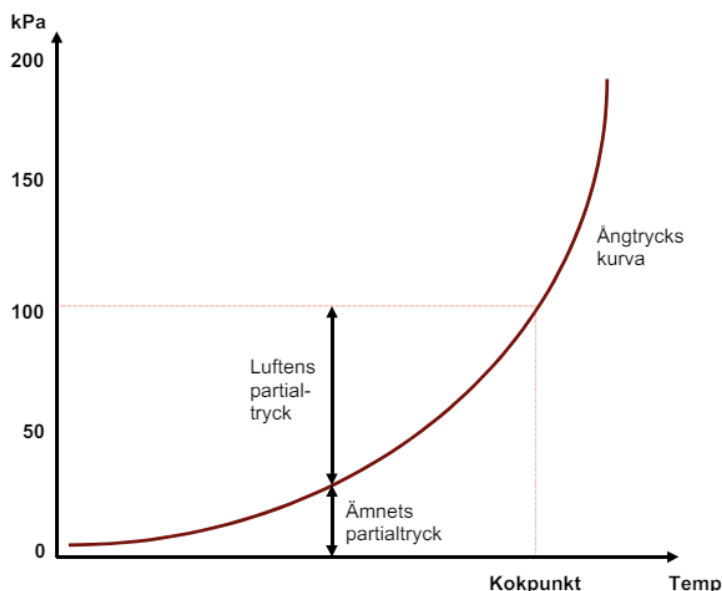
Människor har troligen utsatts för flera typer av bekämpningsmedel. Det som gör klorfenoler speciella, är att de användes under en lång period och att de metyleras till flyktiga ämnen med en stark lukt. Klorfenoler är halvflyktiga och kan därför flytta sig till andra byggnadsmaterial. På så sätt kan kloranisoler också bildas på material som inte ursprungligen är behandlat med klorfenoler. (Lorentzen m.fl. 2023).

3 KLORANISOLER

När klorfenoler omvandlas till kloranisoler, frigörs en eller flera kloratomer från klorfenolen och till hydroxylgruppen fästs en metylgrupp i stället. Processen kallas för O-metylering. (Mäkelä, 2021, s. 49). Kloranisoler är uppbyggda av en bensenring, dit en till fem kloratomer samt en metoxigrupp är bunden (Lorentzen m.fl. 2015; Maraun m.fl. 2015). Kloratomerna har ersatt bensenringens väteatomer. I rumstemperatur förekommer kloranisoler i fast form. (Maraun m.fl. 2015).

Kloranisoler är VOC-föreningar (Volatile Organic Compounds), som är producerade av mikrober (Sisäilmäyhdistys ry, 2019, s. 407; Lorentzen m.fl. 2015). VOC-föreningar är flyktiga organiska ämnen och beskrivs enligt Nationalencyklopedin som luftförorenande kolföreningar som kan övergå till gasform och spridas som gas i luften. I gasform är molekyler fria från varandra och de rör sig med hög hastighet. På ett fast ämnes yta lossnar molekyler på grund av sina rörelser och övergår till gasform. Vid ytan uppstår därför ett visst tryck uppåt, vilket kallas för ångtryck eller ämnets partialtryck. Vid varje fast yta finns alltså ett tryck, som består av både ångtryck och luftens partialtryck. Trycket blir sammanlagt cirka 100 kPa och då ena trycket är större, är det andra mindre. Ifall ångtrycket är 100 kPa, är luftens partialtryck 0 kPa och då har ämnets kokpunkt nåtts. I figur 3 kan man se en ångtryckskurva. Vid högt ångtryck, avges mer gas från ämnet. För att bedöma detta riskavstånd för gasspridning används ångkurvan. (Forsgren, u.å., ss. 4–5). Begreppet

flyktighet har ett nära samband med ångtryck. Ämnen sägs ofta vara svårflyktiga, flyktiga eller lättflyktiga. Alternativt kan deras flyktighet anges som koncentration per kubikmeter. Koncentrationen benämns mättnadskoncentration och är beroende av ett ämnes molekylmassa och ångtryck. (Forsgren, u.å., s. 7).

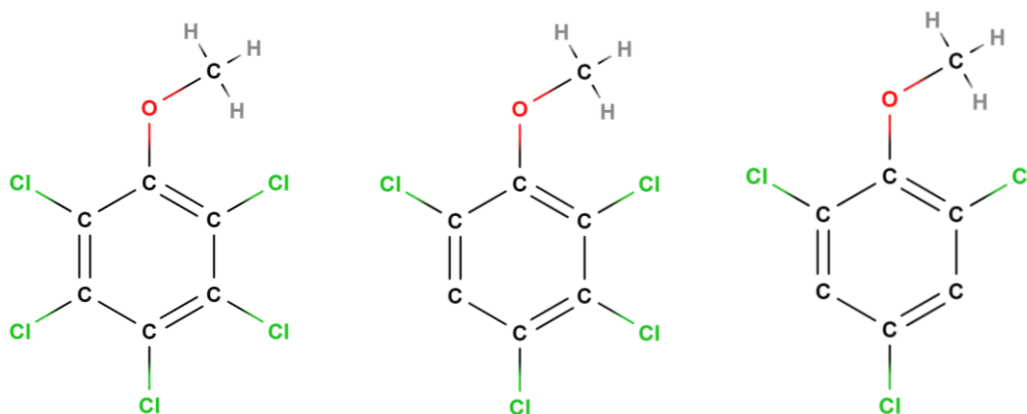


Figur 3: En ångtryckskurva där ångtrycket är beroende av temperaturen. Vid ångtrycket 100 kPa nås ämnets kokpunkt. (Forsgren, u.å., s. 5).

Flyktigheten hos kloranisoler är låg och ju fler kloratomer hos kloranisolen, desto mindre flyktig är den (Lorentzen m.fl. 2015). Via personlig kommunikation med Jerker Andersson, från företaget Optihus AB där man forskar om hus, berättar han att vissa lukter är flyktigare än andra och det betyder att de sprids lättare. Bland de lättflyktiga ämnena finns det såväl de som lätt luktsmittar andra material, som de som inte luktsmittar lika enkelt. De ämnen som lätt luktsmittar, fastnar alltså lätt i andra material. Vissa lukter kan vädras eller tvättas bort ur materialen, medan andra lukter medför bestående luktsmitta. Kloranisoler är kända för att luktsmitta andra material intensivt. Dock beror kloranisolers grad av luktsmitta på vilken kloranisol det handlar om, styrkehalten hos kloranisolen, vilket material som smittas och under hur lång tid luktsmittan funnits. (Personlig kommunikation 3.1.2024).

Som tidigare nämnt, finns det 19 olika varianter av klorfenoler och därför kan dessa också omvandlas till 19 olika varianter av kloranisoler (Mäkelä, 2021, s. 49). Tre vanligt förekommande varianter av kloranisoler är pentakloranisol, 2,3,4,6-tetrakloranisol och 2,4,6-trikloranisol (figur 4) (Lorentzen m.fl. 2020). Pentaklorfenol har omvandlats till

pentakloranisol, triklorfenol till trikloranisol och tetraklorfenol till tetrakloranisol (Andersson, 2022a). Höga halter av kloranisoler i luft, tyder på hög förekomst av klorfenoler i omgivningen. Det beror på att exempelvis pentakloranisol är mycket flyktigare än pentaklorfenol. (Palm m.fl. 2002, s. 8). Pentaklorfenol är ändå den variant av klorfenolerna som är minst flyktig (Lorentzen m.fl. 2020).

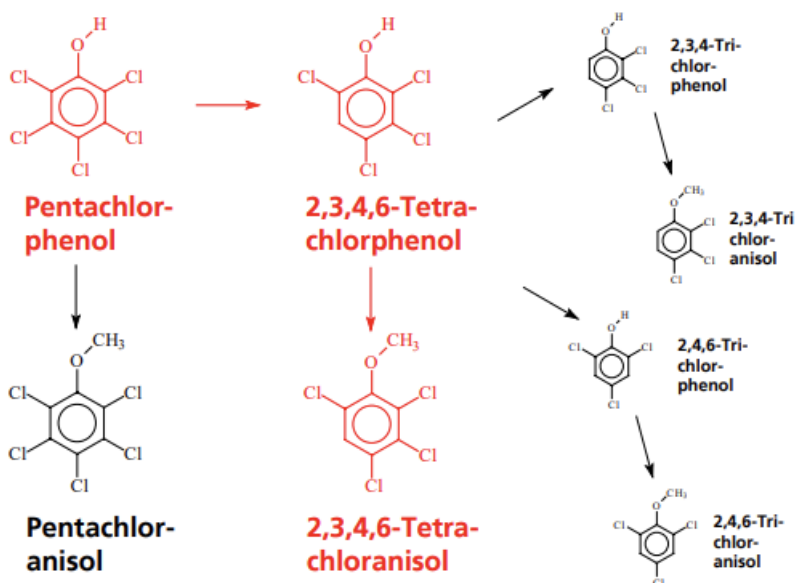


Figur 4: Den kemiska strukturen hos tre vanliga kloranisoler. Från vänster: pentakloranisol med fem kloratomer, tetrakloranisol med kloratomer på plats 2, 3, 4 och 6 i bensenringen samt trikloranisol med kloratomer på plats 2,4 och 6 i bensenringen.

Teknisk pentaklorfenol har ofta en renhet kring 90 % och är därtill blandad med andra klorfenoler, ofta 2,3,4,6-tetraklorfenol. Pentaklorfenol kan metyleras direkt till pentakloranisol eller också dekloreras pentaklorfenol till tetraklorfenol på grund av mikrobers aktivitet (figur 5). Den bildade tetraklorfenolen omvandlas sedan till tetrakloranisol. (Gunschera m.fl. 2005, s. 2154).

I tyska experiment, utförda enligt nedan nämnda källa, visades att koncentrationerna av tetrakloranisoler var högre än pentakloranisoler, fastän båda omvandlats från pentaklorfenoler. För att tetrakloranisol ska kunna bildas, måste tetraklorfenol finnas. Detta sker antingen genom deklorering av pentaklorfenol eller genom att tetraklorfenol finns i den ursprungliga pentaklorfenolen eftersom den inte är 100 % ren. Ifall koncentrationen av pentaklorfenol är alldeles för hög, hindras mikrobernas tillväxt. Det är också en orsak till att omvandlingen från klorfenoler till kloranisoler sker på de material som blivit förorenade av klorfenoler genom överföring. Omvandlingen sker alltså inte på det ursprungligen behandlade trävirket. Bildningen av tetraklorfenol från pentaklorfenol samt överföringen av ämnena från det behandlade trävirket till andra omgivande

byggnadsmaterial, där reaktionerna kan ske, medför att det ofta kan ta lång tid efter själva träskyddsbehandlingen innan lukten uppkommer. (Gunschera, 2005, s. 1, 8).



Figur 5: Förlopp över nedbrytning av pentaklorfenol. Pentaklorfenol omvandlas antingen direkt till pentakloranisol eller genom deklorering till tetrakloranisol via tetraklorfenol. De huvudsakliga komponenterna är rödfärgade i figuren. (Gunschera, 2005, s. 6).

3.1 Lukten av kloranisol

Luktande ämnen kan ofta föra med sig toxiska partiklar och ämnen, vilka människan inte kan känna igen med luktsinnet. Detta gäller bland annat för mögel, bakterier och kemiska ämnen. Ifall lukterna inte åtgärdas, så leder de till dålig luftkvalitet inomhus. (Andersson, 2023a).

Kloranisol har en lukt som påminner om mögel och kan uppfattas även i liten omfattning (Lorentzen m.fl. 2023). En orsak till att kloranisollukten ofta tros bero på mögel, är att förutsättningarna för att det ska bildas mögel och förutsättningar för att klorfenoler ska omvandlas till kloranisoler är mycket liknande. Dessa förutsättningar är, som nämnt, att svampar och bakterier samt fukt bör vara tillgängliga. (Ekberg, 2021, s.1–2). Felaktiga slutsatser eller analyser kan dras om man misstar kloranisollukten för mögellukt (Maraun m.fl. 2015). En skillnad är dock att kloranisoler har en lägre luktröskel och känns igen även vid små mängder, medan det vid mögel krävs större mängder för att känna av lukten (Ekberg, 2021). Nämnvärt är också att mögel på klorfenolbehandlat trä inte ses med blotta ögat, utan måste ses med mikroskop för att upptäckas (Lorentzen m.fl. 2023).

En lukt kan förnimmas mycket olika från person till person, därför är det aningen svårt att beskriva lukten av kloranisoler. Lukten kan ändå beskrivas som instängd, lätt jordaktig, kemisk och lite stickande. Den sägs påminna om mögellukt, fastän det inte är korrekt uttryckt. Däremot avger bakterier och mögel, som finns i samband med kloranisoler, också sina lukter och därför finns det olika varianter av lukt. Lukten av kloranisoler i blandning med annat sägs påminna om äpple, men aningen mer kemiskt. (Andersson, 2022a).

Under perioden man använde klorfenoler i träskyddsmedel, byggdes många sommarstugor. Dessa stugor var kalla på vintern och blev därför utsatta för fukt i hög grad. För att motarbeta fukten använde man klorfenolbaserade träskyddsmedel. Därav kallas kloranisollukten ofta för sommarstugelukt. (Andersson, 2022a). Lukten kallas också för mormorsstuga och i vardagligt tal säger man att det luktar gammalt hus, eftersom lukten ofta förekommer i gamla bostadshus samt sommarstugor (Pitkäranta, 2016, ss. 75–76).

Lukten av kloranisoler tyder på att det finns fukt i en byggnad. Impregnerat trä som är fuktskadat avger en betydande lukt även fast mögeltillväxten är liten. Fuktskadat trä som är impregnerat luktar betydligt mer än fuktigt, obehandlat trä. (Lorentzen m.fl. 2015). Lukttröskeln för flera typer av kloranisoler är mycket låga och kan uppfattas till och med under 10 ng/m^3 . Även fast lukten känns igen redan vid liten förekomst av kloranisoler, kan skadorna trots lukten ändå vara ganska små. (Pitkäranta, 2016, s. 76). Fast omvandling till kloranisoler förutsätter fukt och mikrober, betyder det inte alltid att det finns fuktskador eller stor mikrotillväxt i byggnaden (Mäkelä, 2021, s. 51). I många undersökta hus har man konstaterat att lukten inte nödvändigtvis tyder på mögeltillväxt (Gunschera, Fuhrmann, Salthammer, Schulze, & Uhde, 2004), samtidigt som det vid inledd undersökning inte helt kan uteslutas (Mäkelä, 2021, s. 51).

Lukten fastnar lätt i trä, andra byggmaterial och lösöre (Pitkäranta, 2016, s. 76). Dessutom kan den fastna i möbler och textilier (Andersson, 2022a) samt i hud (Gunschera m.fl. 2004). Lukten fäster sig också i de boendes kläder och finns ofta kvar lång tid efter att byggnaden har lämnats (Maraun m.fl. 2015). Inneboende anpassar sig till lukten och därför är det möjligt att de inte känner av den längre när det gått en tid (Gunschera m.fl. 2004). Det kan vara svårt att få bort lukten ur en drabbad byggnad och i svåra fall har man till och med blivit tvungen att riva byggnader (Pitkäranta, 2016, s. 76). När koncentrationerna av kloranisoler är höga, går det inte att åtgärda problemet med enkla renoveringar.

Oåtgärdade luktproblem kan leda till att byggnadens värde sjunker rejält. De olika varianterna av kloranisolerna har olika luktintensitet. Lukten av trikloranol beskrivs som väldigt intensiv, tetrakloranol som intensiv och pentakloranol som måttligt intensiv. (Maraun m.fl. 2015).

Vanliga exempel på konstruktioner med kloranisollukt är hus utan källare, kryppgrunder med uteluftsventilation samt hus med markliggande platta och värmeisolering ovanom betongen (Lorentzen m.fl. 2023). Kloranisoler leds med fukt genom olika byggnadsmaterial och ett exempel är att unken lukt från kryppgrund kan ta sig upp till bostaden genom golvmaterial som är otäta på molekylnivå (Ljungby Fuktkontroll & Sanering AB, 2015). Klorfenoler har också använts på ställen som inte är fuktiga och då har människor exponerats utan att känna någon lukt (Lorentzen m.fl. 2023). Lukten var sannolikt starkare på 1960- och 1970-talen än idag eftersom koncentrationen var högre, men lukten kan också uppkomma i ett mycket senare skede (Lorentzen m.fl. 2020; Lorentzen m.fl. 2023). Hur snabbt lukt uppstår beror på luftfuktigheten. Ifall träet står på en torr plats, kan lukt uppkomma först efter flera tiotals år. Ifall träet däremot är mycket fuktigt, kan lukt uppstå redan under det följande året efter träskyddsbehandlingen. (Mäkelä, 2021, s. 49). Lukten upplevs starkare om källorna till den inte är isolerade från inomhusmiljön, avfuktare saknas eller undertrycksfläkt alternativt golv med ventilation inte finns (Andersson, 2022a).

3.2 Hälsoeffekter

Människor utsätts vardagligt för klorfenoler via dryck och föda. Däremot kan halten av klorfenoler vara högre i hus med mikrobiell och kemisk skada, än den är i friska hus. I slutet av 1920 kunde man redan läsa i svenska dagstidningar om att klorfenol var förknippat med lukt och smak i vatten och senare även lukt i hus. Flera forskningar gjordes senare, men under 1970-talet utslöts tryckimpregnerat virke som orsak till lukt i hus. Efteråt ifrågasattes detta och 1987 gav Världshälsoorganisationen ut en skrivelse om pentaklorfenol, kloranisoler samt dess skadliga effekter. Inandningsexponering ansågs vara mycket oroande. (Andersson, 2022a).

3.2.1 Samband mellan klorfenoler och hälsoproblem

Enligt Jerker Andersson har man i Tyskland kommit längre med att analysera potentiell hälsopåverkan än exempelvis i Finland och i Sverige (Personlig kommunikation 27.12.2023). I Tyskland, USA och Belgien kunde man redan under 1970-talet konstatera samband mellan hälsoproblem och klorfenoler samt kloranisoler. I Tyskland lades det fram många tusentals fall, där hälsoeffekter i byggnader konstaterades vara en följd av att konstruktionen hade behandlats med pentaklorfenol. Till följd av detta använder man sig av ett uppföljningsprogram i Tyskland, i vilket koncentrationer av klorfenol i urin och blod mäts. (Andersson, 2022a).

År 1990 analyserades prov av klorfenol och kloranisol i Sverige och därefter har man kunnat konstatera att kemikalierna har ett nära samband med inomhusluftproblem. Forskare är oense om hälsoeffekterna beror på psykologiska faktorer eller om de beror på exempelvis kloranisoler. (Andersson, 2022a).

Fukt i byggnader är ofta förknippad med hälsoproblem såsom allergier och andningssvårigheter (Lorentzen m.fl. 2015). Själva kloranisolerna tros inte orsaka symptom och hälsoproblem enligt en del av källorna som hittats (Gunschera m.fl. 2004; Sisäilmäyhdistys ry, 2019, s. 407). Däremot antar man att lukten upplevs som skadlig. (Sisäilmäyhdistys ry, 2019, s. 407).

3.2.2 Kloranisollukten tros framkalla psykosomatiska sjukdomar

Vid Umeå Universitet gjordes ett forskningsprojekt år 2014, var klorfenoler och mögel konstaterades att inte ha toxikologiska effekter. Det innebär alltså att de inte medför sjukdom, utan ifall en person blir sjuk beror det på att för stor vikt sätts vid lukten och psykosomatiska sjukdomsframkallande reaktioner sker i människans kropp. Bakgrunden till kroppssjukdomen antas bero på psyket. (Andersson, 2022a).

Enligt källan nedan framträder stress och oro hos invånare i byggnader med fuktskador. Oron för den otäcka lukten och föreställningar om eventuella risker har ansetts bidra till negativa hälsosymtom hos känsliga personer. Ett exempel är att luktsinnet varnar individen för luktkällan eftersom den påminner om mögel. Det är också möjligt att luktande molekyler aktiverar det sensoriska systemet, vilket resulterar i irritation i hals, näsa och hornhinna. Då kan skyddande reflexer såsom tårar, hosta och nysningar uppstå. Det påstås

dock att pentakloranisol troligen inte medför giftighet eller cancer om man ser till de halter som kan förekomma inomhus. Däremot påstås att kloranisoler kan medverka till att astma, allergi och andra byggnadsrelaterade sjukdomar uppstår. (Lorentzen m.fl. 2015).

3.2.3 Klorfenoler samt deras biprodukter anses vara cancerframkallande

Däremot finns det andra, nyare källor som påstår att klorfenoler medför negativa hälsoeffekter. Användning av klorfenolbaserade produkter inomhus är särskilt ogynnsamt eftersom det kan medföra högre intag via inandning, hud och oralt. Klorfenoler kan lätt tas upp i kroppen på alla dessa tre sätt. (Lorentzen m.fl. 2023). Symtom kan exempelvis vara trötthet, hudirritation, ögonirritation, problem med luftvägarna och astma. (Larsson, Lehtimaa, & Mattsson, 2021, s. 1). Hög exponering för klorfenoler, ofta med innehåll av toxiska biprodukter i låg eller hög grad, anses kunna leda till typer av cancer som anses vara relativt ovanliga och exponeringen kan hos människor orsaka akut förgiftning (Ljungby Fuktkontroll & Sanering AB, 2013a; Lorentzen m.fl. 2020). Exponering av pentaklorfenol kan medföra kroniska effekter och det har enligt vissa källor till och med visat sig vara cancerframkallande (Lorentzen m.fl. 2023). Blandade åsikter finns ändå just om att pentaklorfenol skulle vara cancerframkallande och olika institutioner har klassat pentaklorfenol som såväl misstänkt cancerogen, möjlig cancerogen och trolig cancerogen (Palm m.fl. 2002, s. 12–13). Pentaklorfenol innehåller vanligtvis också föroreningar som är farliga för miljön, exempelvis dioxiner (Palm m.fl. 2002, s. 8). Triklorfenol är i sin tur definierat som möjligen cancerframkallande (Lorentzen m.fl. 2023). Gällande kloranisoler finns det i Finland inte heller några gränsvärden som beaktar hälsorisker (Korkalainen & Rantakokko, 2022, s. 1).

Man skiljer på hälsoskadliga och neutrala lukter i Tyskland. Kloranisoler klassas som neutrala för hälsan och pentaklorfenoler som skadliga för hälsan. (Renopan - Fertighaus-Sanierung, u.å.b). Kloranisoler sägs inte vara hälsoskadliga, men lukten de orsakar är naturligtvis obehaglig i sig (ok Bauservice, u.å.b). Enligt en svensk källa beskrivs det att när människan andats in kloranisoler, kan kloranisolerna omvandlas tillbaka till klorfenoler när de är i omlopp i kroppen. På så sätt kan också kloranisoler bedömas vara hälsoskadliga. (Ljungby Fuktkontroll & Sanering AB, 2015).

Dioxin, furan och i vissa fall också tillsatt lindan har kontaminerat klorfenoler (Andersson, 2022a). Lindan beskrivs enligt Nationalencyklopedin som en organisk klorförening, ofta

använd för att motverka insekter. Därför måste man tänka på att hälsoeffekterna också beror på dessa skadliga kemikalier och att byggnaderna innehåller en blandning av dessa. Alla dessa ämnen är mycket giftiga. (Andersson, 2022a). Dioxin och furan medför skadliga effekter för människan vid dryck- och matintag, samt vid inandning. Dioxin har klassats som cancerogen och furan anses vara troligt cancerogen. (Ljungby Fuktkontroll & Sanering AB, 2013a).

3.3 Kloranisoler i livsmedelsindustrin och miljön

Klorfenoler är en av de vanligast förekommande familjerna av toxiska föroreningar, som kommer från industrins tillverkning. Föreningarna förekommer också i naturen och orsakar till exempel död bland fiskar. (Yadav m.fl. 2023). Inom livsmedelsindustrin finns också många fall då kloranisoler har kontaminerat olika livsmedelsprodukter. Det har exempelvis gjorts undersökningar på att svampar i förpackningsmaterial kan omvandla klorfenol till kloranisol. Ett exempel är att naturliga svampar i kartonger av träfiber har omvandlat klorfenoler till kloranisoler på grund av högre luftfuktighet under transport. (Ekberg, 2021, s.1). Kloranisoler har också kontaminerat vin och mat (Gunschera m.fl. 2004). Trikloranisol har varit allmänt känt som en orsak till korksmak och speciell lukt i vin redan i över 30 år (Gunschera m.fl. 2005, s.2154; Maraun m.fl. 2015).

4 KLORFENOLANVÄNDNING I OLIKA LÄNDER

Klorfenol användes troligtvis inomhus i många länder, men kloranisoler har faktiskt bara rapporterats vetenskapligt från Sverige och Tyskland (Lorentzen m.fl. 2020). I examensarbetet har Johnny Lorentzen blivit intervjuad. Han är en av författarna till flera av de vetenskapliga artiklarna som har använts i examensarbetet. Lorentzen jobbade tidigare som konsult och utbildningsansvarig på Eurofins Pegasuslab AB, som finns i Uppsala, och han forskar även i inomhusmiljöfrågor vid Institutet för miljömedicin på Karolinska Institutet. Nu arbetar han som hygieniker vid Centrum för arbets- och miljömedicin. Lorentzen menar att Tyskland var det enda land som innan Sverige, hade rapporterat om problem med kloranisoler (Personlig kommunikation 6.2.2024).

Det har inte hittats vetenskapliga expertgranskade rapporter om att klorfenoler har använts i Finland, Danmark och Norge. Däremot visar ovetenskaplig litteratur att klorfenoler även i dessa länder har använts på huskonstruktioner, såväl inomhus som utomhus, för att förhindra svampangrepp. Ett exempel är en dansk rapport om hälso- och luktproblem vid en tid som stämmer överens med tiden för användning av klorfenoler i Sverige. Det rapporterades även om hälsoproblem från USA, Sverige och Norge. Det pratades om sjuka hus syndromet, vilket var en term som Världshälsoorganisationen WHO lade fram år 1983. (Lorentzen m.fl. 2023).

Sjuka hus syndromet innebar att människor blir sjuka om de bor i en så kallad sjuk byggnad. En sjuk byggnad kunde kännetecknas av lukt och irriterande ämnen. (Lorentzen m.fl. 2023). Symtomen hos de inneboende människorna kunde handla om astma, allergi, problem med luftvägarna, huvudvärk, trötthet, hudproblem, ögonirritation, infektioner, snuva, illamående, yrsel, sömnproblem, magproblem, blåmärken, håravfall och matallergier. Medicinsk vetenskap har ändå inte klargjort samband mellan symptom av sjuka hus och klorfenoler samt kloranisoler. Uppgifter finns dock på att cancer är vanligt förekommande hos personer som jobbat med kemikalierna vid sågverk eller i och med impregnering. (Andersson, 2022a).

När inomhusluftsforskningen utvecklades i länderna beaktades inte klorfenoler och kloranisoler som en möjlig föroreningskälla. Lukt blev i Danmark uppmärksammas i och med det nämnda sjuka hus syndromet och i Finland antogs lukt vara ett varningstecken för hälsorisker. Sambanden mellan lukt- samt hälsoproblem och klorfenoler samt kloranisoler

fördes det inte diskussion om i någondera av länderna. Detta kan tyda på att klorfenoler och kloranisoler har förvillat inomhusluftsforskare i Norden i tiotals år. (Lorentzen m.fl. 2023).

I de nordiska länderna var byggmetoderna liknande och det gällde även konstruktionsdetaljerna. Skyddsmedel användes för att förhindra fuktproblem. Ländernas myndigheter godkände byggsätten och klorfenolbaserade träskyddsmedel under den stora byggboomen på 1960–1970-talen. Varumärken för träskydd importerades även från exempelvis Tyskland och USA till de nordiska länderna. (Lorentzen m.fl. 2023).

År 1992 utfärdade EU ett förbud mot tillverkning och användning av pentaklorfenol (Palm m.fl. 2002, s. 8). Idag håller klorfenol på att avvecklas och koncentrationerna har minskat, men det är fortfarande ett problem (Lorentzen m.fl. 2020; Lorentzen m.fl. 2023). Fortfarande kan illa lukt upplevas i byggnaderna och i vissa länder, var befolkningens mängd är hög, sker avvecklingen av klorfenoler långsammare (Lorentzen m.fl. 2020; Lorentzen m.fl. 2023). Dessa länder är exempelvis Indien, Mexiko och Indonesien (Lorentzen m.fl. 2023).

4.1 Klorfenol i Sverige

I början av 1900-talet behandlades telefonstolpar och syllar som skydd mot röta och senare började man även använda träskydd vid byggande av hus (Lorentzen m.fl. 2016). Klorfenoler började användas på husbyggnader på 1950-talet på grund av att svenska myndigheter rekommenderade att man skyddade utsatta konstruktioner från fukt (Lorentzen m.fl. 2020). Man ansåg att man genom att använda klorfenol kunde bygga konstruktioner med fuktrisk, eftersom man trodde att klorfenol förhindrade fukten (Andersson, 2022a). Därför godkändes och användes klorfenolbaserade produkter (Lorentzen m.fl. 2020). Byggsättet var snabbt och ekonomiskt lönsamt under den stora byggboomen som pågick i Sverige mellan 1961–1975, då det byggdes över en miljon bostäder (Lorentzen m.fl. 2015; Andersson, 2022a). Användningen av klorfenoler möjliggjordes genom import från andra västerländska länder. Klorfenoler användes, förutom i grundkonstruktioner, även i inomhusfärg. (Lorentzen m.fl. 2020).

I Sverige användes pentaklorfenol främst i form av olika typer av Cuprinol (figur 6), för att det samtidigt möjliggjorde rötskydd och målning (Andersson, 2022a). I träskyddsmedlen i

Sverige användes främst pentaklorfenol, men även andra varianter av klorfenoler har använts. År 1955 uppfanns KP-Cuprinol i Sverige. Produkten fick snabb spridning och användes redan ett år senare för impregnering av en stor del sågat virke på privata anläggningar. (Lorentzen m.fl. 2015). I en källa som jag hittat (Lorentzen m.fl. 2020) beskrivs KP-Cuprinol innehålla lite pentaklorfenoler och mycket tetraklorfenoler samt triklorfenoler. I en annan källa (Lorentzen m.fl. 2015) står det att KP-Cuprinol var en kemikalie baserad på pentaklorfenol och koppar. Vid sidan av KP-Cuprinol användes produkten BP-Hylosan, där pentaklorfenol var löst i eldningsolja (Blomqvist & Jermer, 2008, s. 12; Lorentzen m.fl. 2015). Av impregnerat virke utgjorde KP-Cuprinol 18 % av den totala produktionen och BP-Hylosan utgjorde 3 % (Blomqvist & Jermer, 2008, s. 12). Klorfenoltillverkningen och användningen av klorfenoler var störst i sydvästra och södra Sverige (Blomqvist & Jermer, 2008, s. 32). Impregnerat sågat virke exporterades också från Sverige till Tyskland, Storbritannien, Norge och Danmark (Lorentzen m.fl. 2015).



Figur 6: Ett exempel på en Cuprinol-produkt (Andersson, 2022a).

Användningen av klorfenolbaserade produkter fortsatte tills massmedia började skriva om hälsoproblem, men fokuset blev då på giftiga föroreningar i klorfenol, till exempel dioxiner (Lorentzen m.fl. 2023). År 1978–79 blev produkter med innehåll av klorfenol förbjudna, eftersom forskning hade visat att såväl klorfenoler som biprodukterna dioxin och furan var mycket giftiga. De hade skadliga effekter för både hälsan och miljön. Import var dock inte förbjuden och därför importerade man ännu en tid från exempelvis finska företaget Kemi-hus. (Andersson, 2022a).

När produkterna förbjöds var allmänheten inte riktigt medvetna om klorfenolernas närvaro i byggnader. Myndigheterna hävdade att den illa lukten och människornas hälsoproblem i stället berodde på mögel och fukt. De ignorerade kloranisoler, trots att de kemikalierna verkar ha varit de enda flyktiga ämnena som kan kopplas till lukten i byggnaderna. (Lorentzen m.fl. 2020).

I Sverige har man genom undersökningar insett att många problembyggnader mellan åren 1955 och 1978, när klorfenoler var tillåtet, visar på förekomst av klorfenoler och kloranisoler. I luftprov från problembyggnader har ett genomsnitt på 9 ng/m³ uppmätts. En sådan mängd avger lukt, men anses inte vara skadlig för människans hälsa. (Lorentzen m.fl. 2020).

4.2 Klorfenol i Finland

I Finland användes tetraklorfenol och triklorfenol i hög grad. Klorfenolbaserade produkter användes mellan åren 1930–2000 och exempelvis tetraklorfenol användes i fanerskivors lim fram till år 1990. I början av 1930-talet användes klorfenolbaserade träskyddsmedel som importerades från utlandet, till exempel från USA, men år 1938 utvecklade det finländska företaget Kymmene Ab en produkt som motsvarade den importerade. På 1940-talet hade man egen tillverkning, så importen uteblev. (Lorentzen m.fl. 2023).

Ett exempel på en klorfenol som användes i Finland var Ky-5, som användes mot angrepp av blånadssvamp på ytan av sågat virke (Pitkäranta, 2016, s. 75). Ky-5 var den mest förekommande träskyddsprodukten i landet och den bestod främst av tetraklorfenol, men även mindre mängder pentaklorfenol och triklorfenol (Lorentzen m.fl. 2015; Lorentzen m.fl. 2023). Sågat virke skyddades av Ky-5 genom doppning, borstning och sprutning (Lorentzen m.fl. 2023). Produkten exporterades bland annat till Sverige (Lorentzen m.fl. 2015). Tillverkningen av produkten höll på ända tills 1980-talets mitt och som en följd av detta finns förorenad mark hos gamla sågverk än idag. År 1984 förbjöds Ky-5 i Finland, eftersom det hade konstaterats att klorfenolerna var mycket farliga för såväl människorna som miljön. (Lorentzen m.fl. 2023).

I Finland fanns pentaklorfenolbaserade varumärket Valtti, som blev ett känt internationellt träskyddsmedel. Tillverkaren av varumärket var Tikkurila och företaget blev stort inom färgbranschen i östra och norra Europa. År 1983 rapporterades det i en tidning att vanligt

förekommande ytfärger innehöll penta-, tri- och tetraklorfenoler. Bland dessa ytfärger fanns till exempel olika färgvarianter av varumärket Valtti och ett varumärke som kallades Ventti. (Lorentzen m.fl. 2023).

I Finland fanns ett material som beskrev riskkonstruktioner för fukt. I detta dokument beskrivs platta på mark och kryppgrunder med uteluftsventilering som riskkonstruktioner. Ett stort problem är att det i materialet skrivs att där impregnering av trä mot betong används som skydd mot fukt, kan fuktspärren lämnas bort. Detta har lett till att klorfenoler i samband med fukt och bakterier har kunnat omvandlas till kloranisoler. Även i Finland gjordes många studier om mögel och fukt, liksom i Sverige, för att förklara luktproblemen. (Lorentzen m.fl. 2023). Det finns däremot få studier om kloranisoler som förorening i inomhusluften (Pitkäranta, 2016, s. 76).

Kloranisolerna upptäcktes i slutet av 1990-talet i Finland, då många klagomål på unken lukt i byggnader från 1960–1970-talen hade lett till undersökningar var 2,3,4,6-tetrakloranisol hittades i byggnaderna. Sambandet mellan kloranisoler och klorfenoler klarnade, eftersom alla byggnaderna i fråga var byggda under perioden då klorfenoler användes. Dessutom hade kloranisoler inte använts industriellt i byggmaterial. (Mäkelä, 2021, s. 48).

I Finland har man utvecklat metoder, eftersom medvetenheten om kloranisoler ökat, och vissa laboratorier erbjuder analyser för kloranisoler. Ett av dessa laboratorier är Labroc Oy. I Finland finns det inga officiella gränsvärden för kloranisoler. Däremot hittas exempel på luktrösklar och de finns listade i tabell 1 nedan. (Mäkelä, 2021, ss. 48–49, 51).

Tabell 1: Tabell över luktröskelvärden för olika varianter av kloranisoler.

Variant av kloranisol	Luktröskel ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
2,6-dikloranisol	0,6
2,4,6-trikloranisol	0,005
2,3,6-trikloranisol	0,03
2,3,4,6-tetrakloranisol	0,01
Pentakloranisol	2,2

(Mäkelä, 2021, s. 49).

Personal på LABROC (Personlig kommunikation 6.3.2024) bekräftade att det inte finns gränsvärden för koncentrationer av kloranisoler i luft- och materialprov i Finland. Deras tolkning av kloranisolförekomst baseras enbart på om halten av kloranisoler överskrider analysernas bestämningsgränser.

Eftersom det inte finns vetenskapliga rapporter på att klorfenoler har använts inomhus i Finland, har jag valt att sätta med två exempel här i mitt examensarbete. Dessa exempel är Lochteå församlingslokal i Lochteå samt en sommarstuga i Karleby. Båda objekten har blivit undersökta av IdeaStructura Oy och därifrån kommer informationen. Församlingslokalen färdigställdes år 1974 och i den hade man eventuellt inte med mening använt klorfenoler, men de upptäcktes finnas i övrebjälklagets isolering som bestod av sågspån (figur 7). Församlingslokalen har senare rivits på grund av svåra luktproblem.



Figur 7: Samlande av sågspånsisolering i övre bjälklaget hos Lochteå församlingslokal för provtagning och analyser av kloranisoler.

I sommarstugan i Karleby identifierades kloranisoler i materialprov från såväl övrebjälklag, bottenbjälklag samt en mellanvägg. Varianterna som upptäcktes var 2,4,6-trikloranisol, pentakloranisol och 2,3,4,6-tetrakloranisol. Detta tyder starkt på att klorfenoler finns i konstruktionsmaterialen. Sommarstugans renoveringsåtgärder beskrivs i kapitel 8.2.6.

4.3 Klorfenol i Danmark

I Danmark används klorfenoler från 1950-talet till och med slutet av 1970-talet. Pentaklorfenol importerades från England, Schweiz och Tyskland. Danmark hade även ledande företag inom träskydd och ytbeläggning. Bland dessa företag fanns till exempel Dyrup, Sadolin, Pinotex och Gori. I skyddsmedelsprodukterna användes pentaklorfenol och produkterna såldes i butiker med försäljning av virke, färger samt byggmaterial. Pentaklorfenol användes i impregnering, lim, som tillägg till färg och, i form av natriumsalter som löstes i vatten, också för att tvätta ytor angripna av mögel. Träskyddsmedlen var godkända för att användas inom byggindustrin genom metoder såsom pensling, doppning och sprutning. Bland dessa godkända träskyddsmedel fanns exempelvis Solignum^{PCP1} och Xylamon^{PCP2}. (Lorentzen m.fl. 2023).

Även i Danmark, såsom i Sverige, var det en byggboom på 1960–1970-talen och då byggdes många hus med uteluftsventilerade krypgrunder. Sedan 1960-talet förekom användning av träskyddsmedel i grund-, fönster- och dörrkonstruktioner. Mellan slutet av 1960-talet och början av 1970-talet innehöll så gott som alla träskydd pentaklorfenol oberoende av färg, märke och användningsområde. Det är dock oklart om pentaklorfenol har använts i inomhusfärger. När problem senare uppstod med klorfenoler i utomhusmiljö tillskrev man problemen till dioxiner och år 1977 begränsades produkters innehåll av dioxinföreningar. (Lorentzen m.fl. 2023).

4.4 Klorfenol i Norge

I Norge användes klorfenol fram till 1990-talet. Man har refererat till danska och svenska källor när man byggt hus med uteluftsventilerade krypgrunder och hus med markliggande betongplattor. Därför användes produkter innehållande klorfenoler mot röta i våtrumsskivors lim och i färg för såväl inomhus- som utomhusbruk. Ett exempel på en produkt som innehöll pentaklorfenol och har använts för inomhusfärg i Norge var Solignum^{PCP1}. I början av 1980-talet slutade man med ytbehandlingar innehållande pentaklorfenol, men i allmänhet användes klorfenoler ändå fram till år 1991. (Lorentzen m.fl. 2023).

4.5 Klorfenol i Tyskland

I Tyskland, speciellt i västra delen av landet, användes klorfenolbehandlat träskyddsmedel inomhus i stor omfattning (Lorentzen m.fl. 2016). Bärande träkonstruktioner impregnerades med träskyddsmedel i äldre tyska prefabricerade hus på grund av juridiska krav (ok Bauservice, u.å.b). I Tyskland finns ungefär tre miljoner byggnader där byggnadsmaterialen är förorenade av pentaklorfenol och lindan, vilka båda är giftiga träskyddsmedel (Frauenhofer Institute for Building Physics IBP, 2024).

Träskyddsmedel användes för att förhindra svampangrepp och insekter under 1970- och 1980-talen (Frauenhofer Institute for Building Physics IBP, 2024). Enligt en annan källa (Gunschera m.fl. 2004) användes speciellt pentaklorfenol under senare delen av 1960- och 1970-talen i Tyskland. Därför kan man anta att de förorenade byggnaderna härstammar från 1960–1980-talen.

Husen kan sedan utveckla en illa lukt som beror på att konstruktionen behandlats med träskyddsmedel (Renopan - Fertighaus-Sanierung, u.å.b). Den illa lukten av kloranisoler uppstår ofta mycket senare, vanligtvis först 20 eller 30 år efteråt (ok Bauservice, u.å.b). Problem finns särskilt i ytterväggar och därifrån sprids lukten till rummen innanför (Renopan - Fertighaus-Sanierung, u.å.b).

I Tyskland upptäcktes den skadliga exponeringen av pentaklorfenol i inomhusluften och det blev en skandal (Lorentzen m.fl. 2023). Eftersom ämnena visade sig vara hälsoskadliga, är de förbjudna i Tyskland sedan år 1989 (Frauenhofer Institute for Building Physics IBP, 2024). Trots skandalen har klorfenoler hanterats på ett bra sätt (Lorentzen m.fl. 2023). Den tyska myndigheten för miljö och naturskydd har informerat om de negativa hälsoeffekterna samt utfärdat ett övervakningsprogram (Lorentzen m.fl. 2016). Riktvärden har gjorts för tillåten halt av klorfenoler i inomhusluften och man kan med dessa också bedöma hälsoeffekterna (Lorentzen m.fl. 2023). Sedan år 1987 har man, med hjälp av programmet, mätt halten av pentaklorfenol i invånarnas blod. Efter att klorfenoler förbjöds, har man märkt att halterna hos invånarna har minskat. (Lorentzen m.fl. 2016).

Under användningsperioden av klorfenoler drabbades många offentliga byggnader, till exempel skolor och regeringskanslier. Speciellt historiska byggnader och museutställningar har också drabbats, eftersom man ville behandla dem för att de skulle hålla så länge som möjligt. Flera metoder som man använt för att sanera byggnaderna, har

gett negativt resultat angående kulturarv, resurser och energi. Kostnader för deponering av material är ofta också väldigt höga. (Frauenhofer Institute for Building Physics IBP, 2024).

Hantering av kloranisoler

I en undersökning av fem ramhus med unken lukt, konstaterades att luftkoncentrationerna i isoleringen mellan ytter- och innervägg var särskilt höga och det visar på att föroreningen finns i väggen. Man upptäckte också att kloranisoler började vid vissa punktkällor och därifrån har spridits inom väggen och in till rummen genom diffusion. Dessutom konstaterades att de rum som hade högst föroreningshalt, var placerade i riktning nordväst och de skyddades från solljus av växtlighet. De var troligen fuktigast och därför har mikrober växt samt kunnat omvandla klorfenoler till kloranisoler. Efter denna undersökning kunde man anta ett händelseförlopp. Klorfenolbehandlade träreglar släpper ut pentaklorfenol samt tetraklorfenol och dessa tas upp i paneler, byggfolier samt isolering. Mikroorganismer omvandlar klorfenolerna till kloranisoler, vilka medför en unken lukt i husen. (Gunschera m.fl. 2005, s. 2155–2158).

Tillverkarna av ramhus fick under 1990-talet motta allt mera klagomål över unken lukt i byggnader, vilka härstammade från slutet av 1960- och 1970-talen. Undersökningar visade inte på mögel, men däremot på kloranisoler. Kloranisoler hade inte använts i byggmaterial och man kom fram till att de hade omvandlats från klorfenoler. (Gunschera m.fl. 2005, s. 2154).

ARGUK-Umweltlabor GmbH, ett miljölaboratorium i Tyskland, gjorde ett revolutionerande arbete år 2003 när kloranisoler upptäcktes vara en viktig källa till illa lukt i äldre prefabricerade hus (Maraun m.fl. 2015; Maraun m.fl. 2020). Lukten kallas Fertighausgeruch på tyska, vilket betyder just lukt i prefabricerade hus (Maraun m.fl. 2015).

ARGUK-Umweltlabor GmbH utförde alltså en undersökning år 2003, var man granskade inomhusluftsprövs koncentrationer av kloranisoler i 300 byggnader. Kloranisolförekomst hittades inte i andra typer av hus än äldre prefabricerade hus och de var kopplade till stomkonstruktioner av trä eller massiva konstruktioner. Som ett resultat till undersökningen skapades underlag för klassificering och utvärdering av koncentrationer som uppmätts. (Maraun m.fl. 2015). Företaget har sedan utvecklat grunder för bedömning

och renovering av drabbade byggnader. För att ta reda på vad illa lukt beror på, ska man först ta ett luftprov i rummet som berörs och sedan analysera det. För analyseringen har miljölaboratoriet skapat en databas. Företaget erbjuder tester för att kontrollera förekomst av kloranisoler och andra föroreningar. (Maraun & Pfeil, 2020).

En första uppskattning gjordes år 2003 på gränsvärden för trikloranisoler och tetrakloranisoler i gasform, eftersom sådan information inte hittades i litteraturen. Lukttröskeln definierades som 2 ng/m^3 för trikloranisol och 100 ng/m^3 för tetrakloranisoler. Trikloranisol har en mycket låg lukttröskel och lukttröskeln för tetrakloranisoler är exempelvis 50 gånger högre. Pentakloranisolens lukttröskel är 100 000 gånger större än trikloranisolens lukttröskel. Kloranisolerna förekom i undersökningen vanligen i en blandning av två till tre föreningar och eftersom lukttrösklarna hos trikloranisoler samt tetrakloranisoler är lägst, bestäms ofta lukten av dem. I undersökningen i Tyskland, upptäcktes att koncentrationer av trikloranisoler var lägst, tetrakloranisoler var högst och pentakloranisoler ansågs vara på medelhög nivå då de hade ett värde mellan de två andra varianterna. (Maraun m.fl. 2015).

I Tyskland har man också framlagt något som kallas för luktvärde. För en blandning av olika ämnen, anger luktvärdet om man kan känna lukt av blandningen i luften. Ifall värdet överstiger ett, kan man känna lukt av blandningen. Samtidigt kan föroreningarna enskilt understiga sitt specifika värde för lukttröskeln. (Maraun m.fl. 2015).

Standardiserade mätningar av inomhusluften visar på vilka föroreningar som förekommer och hur stor halten är. Idag följs särskilda riktlinjer, eftersom mätningar av samma hustyper från samma tillverkare kan visa mycket olika mängd föroreningar och olika stark lukt. (Renopan - Fertighaus-Sanierung, u.å.b).

5 ORSAKER TILL ATT KLORFENOLER TIDIGARE FÖRBISÅGS

Den långa omedvetenheten kring klorfenolers och kloranisolers skadliga effekter beror på att myndigheterna anses ha fokuserat på felaktiga faktorer för exponeringen, då de i stället för kloranisoler informerade om fukt och mögel. Det sägs också vara fullt möjligt att en del av författare till rapporterna om fukt och mögel kan ha varit varse om kemikaliernas och träskyddsmedlens skadliga effekter, trots att det inte nämns i rapporterna. (Lorentzen m.fl. 2020).

En av orsakerna till att klorfenoler och kloranisoler förbisågs var att allmänheten var omedveten om problemet. I produktannonser nämndes sällan att de innehöll klorfenoler och produkterna var ofta färglösa, så kemikalierna var inte synliga. (Lorentzen m.fl. 2020).

En annan orsak var att återkallandet av tillstånd för klorfenolbaserade produkter blev obemärkt, åtminstone i Sverige där det skedde år 1977. Återkallandet medförde förändringar i sammansättningen hos välanvända produkter, exempelvis Cuprinol. I processen deltog statliga myndigheter och förändringen gjorde också att man skrev väldigt lite om klorfenoler i senare dokument eftersom man inte ville att problemet skulle uppmärksammas i media. Därför är det mycket möjligt att byggare samt konsumenter inte var medvetna om förändringen. (Lorentzen m.fl. 2020).

En tredje orsak var att lukten av kloranisoler ofta troddes bero på mögel i stället och detsamma gällde hälsoproblemen. Luktproblemet har tidigare antagits bero på fuktproblem i konstruktioner. Det sades att trä som är impregnerat skyddar mot röta, men inte mot mögel samt att svampar som angriper impregnerat trä ofta orsakar en stark lukt. Trots att en del omständigheter pekade på att problemet berodde på impregnering av trä och dessutom pekade bort från mögel, bortsåg man från dem. År 1994 klarställdes en rapport om att den illa lukten kom från KP-Cuprinol, vilken då redan var förbjuden. Det konstaterades att konstruktioner med lukt sällan innehöll mögel. I en annan rapport år 1998 framgick att lukten av kloranisoler och lukten av mögel lätt kan förväxlas med varandra. (Lorentzen m.fl. 2020).

Ytterligare en svårighet, med att utreda förekomsten och användningen av olika typer av klorfenoler bakåt i tiden, finns i och med att en del material är sekretessbelagt. Därför kan

det vara utmanande att sammankoppla lukt- och hälsoproblem till olika produkter och även det försvårar att rätt kunskap sprids. (Lorentzen m.fl. 2023).

Jerker Andersson (Personlig kommunikation 3.1.2024) framhåller att olika åsikter finns gällande om klorfenol- och kloranisolproblemen faktiskt har varit okända. Inom saneringsbranschen i Sverige har man varit medvetna om problemen. Däremot har myndigheter, industrin och politiker tystat ner problemen. Därför finns kunskapsluckor bland företag och privatpersoner, däri också husköpare av drabbad byggnad.

6 FUKT- OCH MIKROBSKADADE BYGGNADER

I detta kapitel behandlas skador hos fukt- och mikrobskadade byggnader samt allmänna reparationsmetoder. I kapitel åtta behandlas specifika saneringslösningar samt -metoder för byggnader med kloranisollukt och det kapitlet är skrivet med avseende på klorfenoldrabbade byggnader.

Virus, bakterier och svampar är alla mikrober, som finns naturligt såväl inomhus som utomhus. Mikrober förekommer bland annat i människor, byggnadsmaterial, näringsämnen och textilier. Mikrober i uteluften kan komma från växters ytor, marken och exempelvis kompost. Därför är varken uteluften eller inneluften steril ens i normala förhållanden. Ifall mikrober finns i stor omfattning i byggnader kan de dock ge upphov till konstruktionsskador eller människosjukdomar. Mikrotillväxt kan ske när konstruktioner utsätts för fukt. (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, 2020, s. 223).

Reparationer för mikrob- och fuktskadade byggnader strävar framför allt till att helt få bort de hälsoproblem som kommer av föroreningar i inomhusluften samt fukt- och mikrobskador (Weijo m.fl. 2019, s. 34). Inomhusluftsproblem har ofta flera olika källor. Dessa kan till exempel vara planeringsfel, försummande av väderskydd under byggskedet, bristande underhåll och användning, brister till följd av ändrade material eller ändrat användningsområde, problem med ventilation, felaktiga anslutningar i konstruktionen eller föroreningar (Weijo m.fl. 2019, s. 35; Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, 2020, ss. 16-17). Föroreningar kan uppkomma då ämnen emitterar från byggnadsmaterial. En stor

mängd fukt i byggnadsmaterial och i luften, kan leda till att dessa förorenande ämnens halt i inneluften ökar. För att undvika detta, är det viktigt att hantera fukten på rätt sätt. (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, 2020, s. 13).

För att hantera fuktrisker, bör man känna till hur fukt och vatten förflyttas och vilka tecken som kan tyda på skador (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, 2020, s. 186). Fukt kan förflyttas i konstruktioner i form av vattenånga eller vatten i flytande form. Vattenånga förflyttas genom konvektion och diffusion. Konvektion betyder att vattenångan förs med luftströmmar och diffusion innebär att vattenånga förflyttas på grund av skillnader i luftens halt av vattenånga. Vatten i flytande form förflyttas på grund av gravitation, tryckförhållanden, ytdiffusion och kapillärströmning. Gravitationen gör att vattnet rinner neråt, vid tryckförhållanden påverkar vattnets tryck konstruktionen, ytdiffusion innebär att vattenmolekyler på porers ytor flyttas och kapillärströmning betyder att vatten absorberas i porer på grund av kapillära krafter. (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, 2020, s. 226).

De befintliga skadorna i konstruktionerna samt orsakerna till dem, åtgärdas vid reparation. När man planerar en reparation är det viktigt att tänka på hur grundligt reparationen ska göras samt vilket reparationssätt som är mest lämpligt. (Weijo m.fl. 2019). Planerna för reparationer av fukt- och mikrobskadade byggnader, görs detaljerat och man ska inte ändra på dem utan att fråga planeraren (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, 2020, s. 219). Vilken reparationsmetod som väljs beror på vad som orsakat skadan, hur stor omfattningen av skadorna är, var de finns, konstruktionens täthet samt hur lång livslängd man eftersträvar hos objektet i fråga. Även ekonomiska aspekter beaktas ofta vid val av reparationsmetod. Vid reparation är det också viktigt att reparationen utförs på rätt sätt samt hantering av god teknisk helhet gällande brand, fukt, värme och ljudisolering. (Weijo m.fl. 2019). Det är också nödvändigt att granska fastighetstekniska system, såsom VVS-system, särskilt ventilationen, samt vatten- och avloppssystemen (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, 2020, s. 187).

Reparationssätt bestäms utgående från utförd konditionsundersökning. Enligt denna källa indelas reparationssätten i tre olika grupper. Dessa är grundlig renovering av konstruktion, delvist förnyande av konstruktion och ytlig förbättring av ventilering och lufttäthet. Reparationsmetoder för mikrob- och fuktskadade byggnader delas i sin tur in i förnyande av byggnadsdel, förbättring av fuktteknik, torkning, förbättring av lufttäthet, ändring av

tryckförhållanden och inkapsling. Ifall skadan är aktiv och hela tiden ökar, så är det bäst att förnya hela den skadade byggnadsdelen. Andra skador, som påverkar den redan skadade konstruktionen, kan också vara orsakade av fukt. Därför kan det vara aktuellt att åtgärda även sådana skador. Ett exempel på en sådan skada är armeringskorrosion i mantelkonstruktioner. (Weijo m.fl. 2019).

6.1 Skador i specifika byggnadsdelar

I underkapitlen till kapitel 6.1 behandlas vanliga fukt- och mikrobskador i bottenbjälklag, ytterväggar, vindsbjälklag, vattentak och mellanbjälklag. Det beskrivs även vad som är viktigt att tänka på vid reparation. Eftersom klorfenoler omvandlas till kloranisoler när de har tillgång till fukt och mikrober, är det viktigt att förstå varifrån fukten och mikroberna kan uppstå.

Fukt i konstruktioner uppstår till följd av skador i dem eller miljöns påverkan. Mikrobers tillväxt styrs i sin tur av tillgång till näringsämnen och fuktighet samt temperatur hos ytor och konstruktioner. För att förhindra att fukt samlas i konstruktioner ska man förhindra vätning och inträngning av fukt i form av vatten, snö samt ånga. Vid eventuell vätning ska konstruktionen ha möjlighet att torka ut själv. Att helt eliminera fukt är dock nästintill omöjligt. (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, 2020, s. 13).

6.1.1 Bottenbjälklag mot mark

Fukt kan förekomma i golvkonstruktioner som ligger mot marken till följd av byggfukt, rörläckor eller markfukt. Genom sprickor i markliggande platta, genomföringar och otäta anslutningar kan föroreningar nå inomhusluften. (Weijo m.fl. 2019, s. 44). Fuktproblem i grunder och bottenbjälklagskonstruktioner uppstår ofta också av regnvatten, köldbryggor eller vattenläckage i våtrum. Markliggande plattors skador kan vara en följd av att plattan väts kapillärt, fukt som stiger från marken, att konstruktionens byggfukt inte har torkat ut eller att konstruktionen omges av två täta skikt. (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, 2020, ss. 263–264).

Skador i bottenbjälklag medför ofta omfattande rivning för att helt eliminera skadan. Ifall man enbart förnyar en del av konstruktionen, ska man hålla sig till lösningar där kvarlämnat skadat material inte påverkar omkringliggande konstruktioner negativt. Vid reparation av

bottenbjälklag är det viktigt att tänka på konstruktionernas lufttätethet och ventilation. Ifall fukt förekommer i grundkonstruktioner kan det också löna sig i att se över dräneringen och hur regnvattnet leds från grund och tak. (Weijo m.fl. 2019, ss. 44–45).

6.1.2 Bottenbjälklag mot kryppgrund

Skador hos bottenbjälklag i kryppgrund är ofta följer av ytvatten som letat sig in i kryppgrunden, markfukt, material som murknar, bristande ventilation eller hög fuktighet i luften (Weijo m.fl. 2019, s. 45). Ventilerade bottenbjälklag kan också ha fuktskador som kommit av kvarlämnat organiskt material i kryppgrunden, för mycket fukt som avdunstar från marken till kryppgrunden, att kryppgrunden är för kall på sommaren eller rörläckage (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, 2020, s. 264). Det är viktigt att täta konstruktionen, så att föroreningar inte når inneluften via otäta anslutningar. När man reparerar kryppgrunder är det lönsamt att se över fukttekniken där. (Weijo m.fl. 2019, s. 45).

6.1.3 Ytterväggar

Fuktskador i anslutningar mellan grundmur och yttervägg kan orsakas av att markytan är för högt upp, fuktbelastning från marken, ytvatten, bristfälliga stuprör eller på grund av att vattenavledning saknas i anslutningarna (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, 2020, s. 265). Den främsta orsaken till fuktskador i ytterväggar är regn och snö. De kan tränga in genom fasadmaterialet till luftspalten eller värmeisoleringen. Fukt kan också komma in i konstruktionen via takfotsplåtar eller fönsterbleck, vilka har monterats bristfälligt. (Weijo m.fl. 2019, ss. 48–49). Ytterväggars fuktskador beror ofta också på bristfälliga stuprör, köldbryggor, brister i och med dräneringen, bristande vattenisolering i våtrum, marken lutar åt fel håll, ytbeläggningen är för tät eller opassande alternativt att fukt tar sig in i väggkonstruktionen via anslutningar (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, 2020, ss. 265–266). Vid reparation ska man kontrollera den byggnadsfysikaliska funktionen, vattentätheten samt möjlighet till torkning hos konstruktionen vid eventuell fuktbelastning. Väggens inre yta ska vara lufttät, så att inneluftens fukt inte kan gå ut i väggkonstruktionen. (Weijo m.fl. 2019, ss. 49–50).

Väggar mot mark kan bli fuktiga av grundvatten, dagvatten, fukt i inomhusluften, byggfukt och markfukt (Weijo m.fl. 2019, s. 46). Andra orsaker kan också vara bristande vattenisolering, att konstruktionen är omgiven av två täta skikt eller invändig

tilläggsisolering (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, 2020, ss. 264–265). En vanlig skadeorsak är markfukt som tränger in genom bristande tätskikt (Weijo m.fl. 2019, ss. 46–47). Reparationsmetoderna handlar om kontroll av tätskikt, värmeisolering, ventilation, regnvattensystem, dränering och stuprör (Weijo m.fl. 2019, s. 47; Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, 2020, s. 187). Underhållshantering för avledande av fukt i omgivningen närmast byggnaden görs genom att hålla marken fri från växtlighet såsom träd och buskar, leda bort ytvatten och kontrollera markens lutning (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, 2020, ss. 186–187).

6.1.4 Vindsbjälklag och vattentak

Skadornas källor är ofta otätt vattentak eller otät takkonstruktion, otäta fogar och anslutningar, gammal teknik eller gammalt material (Weijo m.fl. 2019, s. 50). Fuktskador hos tak och övre bjälklag är vanligen också takbrunnar som blivit tilltäppta, dåligt fungerande anslutningar mellan vägg och tak, vatten som kommit dit under byggskedet eller att nedre våning är i övertryck jämfört med övre bjälklagets luftspalt och att bjälklaget inte är luft- och ångtätt (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, 2020, s. 268). Vid övertryck kommer mer ventilerad luft in än vad som kan avges. Därför trycks luft ut genom springor samt andra otäta ställen. När luft trycks ut i håligheter på grund av övertryck, kan fuktskador uppkomma. (Ljungby Fuktkontroll & Sanering AB, 2013b).

Det är viktigt att ång- och luftgenomsläppligheten är ändamålsenlig, så att fukt inte kommer in med inneluften. Då kan fuktskador uppkomma i vindsbjälklag med dålig eller ingen ventilation. Därför ska materialet på konstruktionens yta inåt vara tillräckligt ång- och lufttätt. Vid reparation är det viktigt att speciellt kontrollera anslutningarna. Med ett ång- och lufttätt material hindras föroreningar från att sprida sig till inomhusluften. För att åstadkomma ändamålsenliga lufttäta anslutningar ska man tänka på att konstruktioner böjs, konstruktionens livslängd och dess värme- och fuktrörelser. Anslutningar kan tätas med polyuretanskum, elastisk massa, tejp eller genomföring av gummi. Takmaterialet ska vara tätt mot regn. Vid reparation av vindsbjälklag och vattentak, kan det krävas reparationer även i de övre delarna av anslutande byggnadsdelar, såsom ytterväggar och mellanväggar. (Weijo m.fl. 2019, ss. 50–51).

6.1.5 Mellanbjälklag

Mikrob- och fuktskador i mellanbjälklag är ofta orsakade av byggfukt, väta under byggnadstiden, rörläckage samt kondens från ineluftens fukt. Innan reparation är det viktigt att ta reda på orsaken och omfattningen av skadorna hos konstruktionen och anslutningar. Detta görs för att klargöra hur stora konstruktionsöppningar som behöver göras. (Weijo m.fl. 2019, s. 52).

Icke-lufttäta konstruktioner medför att den fukttekniska funktionaliteten hos en byggnad inte fungerar optimalt. Luft kan då läcka både från byggnadens insida och utsida. Med luften kan även föroreningar förflytta sig. Därför är det viktigt att täta anslutningar och genomföringar i en konstruktion. En förutsättning för ett lyckat resultat är att luftspärren ska gå sammanhängande runt hela konstruktionens mantel och att anslutningarna är täta. (Weijo m.fl. 2019, s. 52).

Välisolerade mellanbjälklag kan användas för att åstadkomma god ljudisoleringsförmåga. I sådana mellanbjälklag kan det dock uppstå fuktskador till följd av fuktig luft som läcker inifrån genom otätheter mellan yttervägg och mellanbjälklag. När luften går via kalla ytor kan den orsaka kondens eller hög relativ fuktighet ifall temperaturen är låg. (Samuelson, Arfvidsson, & Hagentoft, 2007, ss. 107–108).

6.2 Reparationsmetoder

Byggnader som är skadade av mikrober och fukt åtgärdas ofta med rivning, torkning, försäkrans av byggnadens byggnadsfysikaliska funktion och reglering av fastighetstekniska system såsom ventilation. I vissa fall används också andra reparationsmetoder såsom inkapsling, bättrande på lufttätheten, reglering av under- och övertryck samt begränsning av föroreningar och fukt. Ifall andra åtgärder inte kan göras är yttlig rengöring och städning, där man beaktar föroreningar, möjliga alternativ. För att reparera en konstruktion kan man använda en eller flera typer av metoder. (Weijo m.fl. 2019, ss. 56–57). Innan en reparation, sätter man först upp kvalitetsmål och möjliga reparationsåtgärder bör ses ur olika perspektiv. Dessa perspektiv kan vara tekniska, ekonomiska, hälsosamma och livscykelinriktade. Efter en reparation bör byggnaden fungera väl angående värme, luftströmmar och fukt. (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, 2020, ss. 216–217).

Ifall en konstruktions kvarvarande livslängd beräknas vara kort eller om mängden föroreningar är liten, fokuserar man på att förhindra spridning av skadliga ämnen från konstruktionerna till inomhusluften. Föroreningar förhindras att nå inneluften om luft inte kan strömma genom konstruktionerna och om tryckförhållandena justeras. Luftströmmar kan till och med stoppas helt med inkapsling. Däremot förblir föroreningskällan kvar i byggnaden. (Weijo m.fl. 2019, s. 56).

Ifall en konstruktion av trä innehåller skadliga ämnen eller är drabbad av fukt- eller mikrobskador är metoder såsom rivning av förorenade byggnadsdelar, inkapsling och justering av tryckförhållanden lämpliga (Weijo m.fl. 2019, s. 58). Detta kan alltså tillämpas på byggnader som är drabbade av kloranisoler och beskrivs i den aspekten i underkapitlen till kapitel åtta.

6.2.1 Torkning

Torkning av konstruktioner är endast lönsamt om det fuktiga materialet inte går att avlägsna, skadan inte har orsakat mikroväxt än och skadan är lokal. När man upptäckt en akut fuktskada, ska man först klarlägga vilka konstruktioner som ska bytas ut och vilka som ska torkas. Sedan är det nödvändigt att börja med torkning direkt, för att förhindra att skadan breder ut sig ytterligare. Ifall skadan har funnits en längre tid, kan det medföra behov av rengöring av material eller stora materialbyten. (Weijo m.fl. 2019, s. 57). Några andra torkningsmetoder är att värma upp byggnaden och att ta bort fuktig inneluft. För att kontrollera om torkningen har gett resultat, används fuktmätningar. (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, 2020, s. 218). Mekanisk torkning kan leda till att föroreningar sprids till ett större område eftersom torkning inte resulterar i att en mikrobskada försvinner. Konstruktionerna måste vara helt torra innan man täcker dem. Ett krav för ett lyckat resultat är att materialen är oskadda. (Weijo m.fl. 2019, ss. 40, 58).

6.2.2 Slipning eller byte av skadat material

Avlägsnande av skadade byggnadsmaterial sker i de fall där byggnadsdelarna börjar ha nått sin livslängd eller nära skadorna är mycket omfattande. Ifall åtgärder försummas kan skadorna förvärras och reparationskostnader således öka. Det är viktigt att inget fuktigt eller skadat material lämnas kvar. (Weijo m.fl. 2019, s. 59).

Ifall skadorna sitter i byggnadens bärande konstruktion, slipar och fräser man så djupt i materialet att skadorna fås bort (Weijo m.fl. 2019, s. 59). Mikroskadade ytor slipas med slipmaskin och grovleken av slippapper väljs enligt önskat djup av slipningen. Efter slipning kontrollerar man med mikrobiologisk analys att mikroberna har avlägsnats. (Bloom, Bok, & Theorin, 2023, ss. 13–14).

Tunna eller porösa material byts ut. Skadat material ska antingen förnyas eller isoleras från att vara i kontakt med inneluften. När skadan är eliminerad kan det ännu vara lönsamt att tätta luftläckage eller använda sig av inkapsling för att förhindra att eventuella kvarblivna föroreningar tar sig ut i inomhusluften. En förutsättning för ett bra resultat är att man kontrollerar den byggnadsfysikaliska funktionen hos den nya konstruktionen. Några risker med förnyande av konstruktion är att brandkrav, stabilitet, ljudisolering, fastighetstekniska systemen samt anslutningar till andra konstruktioner kan lämnas obeaktade vid ny lösning. (Weijo m.fl. 2019, ss. 40, 59–60).

6.2.3 Inkapsling

Inkapsling är lämplig som metod när skadan inte är progressiv, den är svår att avlägsna och hälsoproblemen är stora (Weijo m.fl. 2019, s. 40). Vid inkapsling förblir det skadade materialet i byggnaden (Naturvårdsverket, 2005, s. 45). Inkapsling görs för att minska spridning av och kontakt med skadliga ämnen (Naturvårdsverket, 2005, s. 39). Vid inkapsling ska man även vidta åtgärder för att hindra att skadan sprids ytterligare. En risk som kan medföra ett dåligt resultat är hål i materialet, eftersom föroreningarna når inomhusluften då. Till följd av inkapsling kan luftläckage vid en annan byggnadsdel öka. Det är i dagens läge även osäkert hur lång användningstid materialen har, för sådan erfarenhet finns inte ännu. (Weijo m.fl. 2019, s. 40).

Syftet med inkapsling är att skadliga ämnen samt föroreningar hindras från att nå inneluften via diffusion och konvektion. Inkapsling används speciellt för polycykliska aromatiska kolväten, PAH, och flyktiga organiska föreningar, VOC. Inkapslingen görs med lufttäta material som förhindrar gaser att tränga igenom dem. Målet är att isolera konstruktioner, som har skadliga utsläpp, från inomhusluften. Hela den skadade konstruktionens yta ska täckas av materialet och materialet bör vara lämpligt, med tanke på luft- och vattenånggenomsläpplighet, för de föroreningar som förekommer. Ett problem

med inkapsling är att torkning av konstruktionen kan försämrats, eftersom nya materiallager sätts till och läckage tätas igen. (Weijo m.fl. 2019, ss. 61–62).

Inkapslingsmaterialet ska inte vara känsligt vid förändringar i byggnadens rörelser eller temperatur, vara lätta att montera, ha begränsat innehåll av lösningsmedel eller giftiga ämnen och ha förmåga att släppa igenom vattenånga (Naturvårdsverket, 2005, s. 46). Som inkapsling kan man använda sig av beläggningar eller ångspärrar. Till beläggningar hör akrylharts, epoxiharts, polymerbaserad enkomponentsbeläggning och elastisk beläggning baserad på växtolja. Till ångspärrar hör aluminiumlaminerad plast, bitumen och polyamid. Materialen bör vara motståndskraftiga mot vattenånga. Ångspärrar gör det möjligt för konstruktionen att torka såväl inåt som utåt, vilket är bra ur ett fukttekniskt perspektiv. (Weijo m.fl. 2019, s. 62).

Metoden strukturell inkapsling innebär att man bygger en avskild innervägg med luftspalt. Väggen kläs in med skivor, tegel eller block. Man använder sig av mekanisk ventilation med till- och frånluft mellan den befintliga väggen och den nya innerväggen. Då förhindras skadliga föroreningar att nå inomhusluften. Det negativa med strukturell inkapsling är att det inte är fullständigt tätt, den mekaniska ventilationen kräver underhåll och tillväxt av mikrober kan förorsakas av föroreningarna. (Weijo m.fl. 2019, ss. 62–63).

6.2.4 Justering av tryckförhållanden

Vid alla typer av reparationer är det väsentligt med reglering av ventilationen och kontroll av tryckförhållandena. Det är viktigt att man hanterar luftströmmar, luftläckage, tryckförhållanden, fukttekniken och fastighetstekniska system. (Weijo m.fl. 2019, s. 40). Man bör tänka på ventilationens mängd, renhet och vilka rutter den tar (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, 2020, s. 238). Ventilationen kan exempelvis inte antas vara tillräcklig om vattenångan efter en dusch förblir länge kvar på badrumsspegeln (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, 2020, s. 206). För stor ventilation kan leda till låg temperatur eller torr luft och en för hög ventilationshastighet kan orsaka drag (Allergi- och Astmaförbundet rf & Andningsförbundet rf, 2013, s. 12).

Inneluften påverkas mycket av ventilationen. Genom justeringar av till- och frånluft åstadkommer man skillnader i tryck mellan utomhus- och inomhusluften samt också mellan byggnadens olika rum. En oönskad tryckskillnad kan göra att luftströmmar med innehåll av

föroreningar går i fel riktning. Ett undertryck gör att luft kan komma in i byggnaden via otäta anslutningar och genomföringar. (Weijo m.fl. 2019, s. 63). Huttunen förklarade att byggnader förut ofta planerades med ett undertryck på 5–10 Pa eller att mängden tilluft var ungefär 10 % mindre i förhållande till mängden frånluft (Personlig kommunikation 8.4.2024). Nu för tiden planeras byggnader så att tryckförhållandet gällande luft inomhus och utomhus ska vara noll. Tryckförhållanden är aningen svåra att reglera med ventilation eftersom de också påverkas av vind och skillnader i temperaturer. Dessutom måste man beakta att tryckförhållandena kan variera under året och under dygnet. (Weijo m.fl. 2019, s. 63).

Undertrycksreglering kan bli aktuellt om föroreningar strömmar in på grund av tryckskillnader. Då skapar man undertryck i konstruktionen var föroreningskällan finns, så att luftströmmen går i riktning mot föroreningarna. Undertrycksreglering kräver tätning av konstruktionen, en frånluftsblåsare och ett stort kanalsystem. I krypgrunder kan det vara lönsamt att ha undertryck, eftersom inneluft leds till krypgrunden i stället för att krypgrundens luft leds in i byggnaden. Undertrycksreglering används vanligtvis i väggar mot mark, bottenbjälklag och i kanaler som finns i mellanbjälklag samt under bottenbjälklag. (Weijo m.fl. 2019, s. 64).

På motsvarande sätt kan man även sätta oskadade rum i övertryck. Då riktas luftflödena mot de utrymmen som har lägre tryck. Metoden är dock inte rekommendabel i Finland, på grund av att fuktbelastningen ökar. Övertrycksreglering är lämpligt i byggnader, var man inte lyckats med andra åtgärder och där den kvarvarande livslängden är kort. Metoden kan också fungera som en tillfällig lösning. (Weijo m.fl. 2019, ss. 64–65).

7 MÄTNINGAR OCH ANALYSER AV KLORANISOLERS OCH KLORFENOLERS FÖREKOMST

Vid sanering av en byggnad måste en utredare beakta att klorfenoler kan finnas i byggnaden. Speciellt om en byggnad saneras på grund av möjlig eller unken lukt är det bra att kontrollera om det finns förekomst av klorfenoler och kloranisoler. (Lorentzen m.fl. 2023). När man undersöker kloranisoler i inomhusluften, är det viktigt att avgöra vilka typer av kloranisoler som förekommer och hur höga nivåer det handlar om (Lorentzen m.fl. 2015). För att klorfenoler ska metyleras till kloranisoler krävs, som tidigare nämnt, mögel och bakterier. Därför måste också bakterier och mögel utvärderas skilt i aktuella byggnader. Därtill är det också viktigt att beakta att kemikalierna dioxin, furan och lindan kan finnas vid sidan om själva kloranisolerna. (Andersson, 2022a).

Professor Lennart Larsson och verkställande direktör Johan Mattsson på företaget cTrap AB (Personlig kommunikation 3.1.2024) skriver att förekomst av kloranisoler ofta märks just genom den kännpaka lukten, men den kan också kontrolleras genom mätningar av luftkoncentrationer. Lorentzen (Personlig kommunikation 6.2.2024) förklarar att aktiv provtagning kan användas för att detektera och kvantifiera förekomst av klorfenoler och kloranisoler. Andersson (Personlig kommunikation 3.1.2024) berättar att man använder en speciell luftpump med olika filterabsorbenter (figur 8). Lorentzen (Personlig kommunikation 6.2.2024) förklarar vidare att luft pumpas genom ett rör och att det i röret finns en speciell adsorbent som luften pumpas genom. Koncentrationerna av kloranisoler är ofta väldigt låga och därför får man pumpa länge, ofta många timmar. Röret förs sedan till ett laboratorium, där adsorbenten plockas ut. Desorption med 1 ml diklormetan görs och provlösningen stoppas in i en gaskromatograf för att få fram vilka ämnen som bundits till adsorbenten (Lorentzen m.fl. 2015). I gaskromatografen separeras föreningar från varandra och identifiering sker med en spektrometer (Envall, 2017, s. 24).



Figur 8: Luftprovtagning med en pump som har tre olika filterabsorbenter (Lorentzen, 2013, s. 47).

Vid luftanalyser kan förändrade eller förhöjda halter av specifika ämnen tyda på problem i byggnaden. Luftanalyser visar på byggnadstekniska problem i byggnaden, men kan inte beakta hälsorisker för de boende. (Lorentzen J. , 2013, s. 48). Vid luftanalys ska man också tänka på att resultatet anger ett momentant värde. Koncentrationen av klorfenoler i luften varierar på grund av skadekällans styrka, befintlig ventilation, temperatur och luftfuktighet. Att få fram en godkänd luftanalys är därför dyrt och tidsödande. (Schnelle-Kreis, Scherb, Gebefügi, Kettrup, & Weigelt, 2000). Ifall luftanalyser indikerat på problem, kan problemen konstateras vara riktiga med materialanalyser. Sedan kan man besluta sig för åtgärder. (Lorentzen J. , 2013, s. 48).

Andersson (Personlig kommunikation 3.1.2024) säger att lufttesterna analyseras efteråt, men att det bara finns ett fåtal laboratorier som gör denna typ av analys. Det beror möjligtvis på att husägare samt husköpare inte är medvetna om problemen med klorfenoler och kloranisoler.

I Finland görs både provtagningar och analyser av kloranisoler. Provtagningar görs genom luftprov eller materialprov. Materialprov ska levereras till laboratorier inuti aluminiumfolie

samt innesluten i en minigrippåse. Ett exempel på ett laboratorium som analyserar dessa luft- och materialprov är Labroc. Ur ett luftprov kan de tio vanligaste kloranisolerna identifieras. Laboratoriet förtydligar att inomhusluftsproblem inte enbart ska baseras på luftprovets resultat, utan att man också behöver forska i byggnadens teknik. (LABROC, u.å.).

Förekomst av pentaklorfenol inomhus kan också mätas genom dammanalys. Dammanalys är en enklare metod som ofta används för att få fram förekomst av halvflyktiga föroreningar och i en sådan analys mäts koncentrationen av pentaklorfenol i nytt damm. (Schnelle-Kreis m.fl. 2000).

Det rekommenderas att ta luktprover från en drabbad byggnad och då ska man efteråt utvärdera dem på ett annat ställe än i själva byggnaden, eftersom omgivande lukt snabbt sällas bort från människans medvetande (Andersson, 2022a). Det finns dock inga gränsvärden för klorfenoler och kloranisoler i inomhusmiljö varken i Sverige eller i Finland (Pitkäranta, 2016, s. 76; Andersson, 2022a).

Organiska föroreningar, såsom exempelvis pentaklorfenol, analyseras främst med gaskromatografiska metoder. Problemet är att dessa metoder är långsamma och flera steg av provförberedning krävs. Analyser med infraröd spektroskopi kunde vara ett snabbare och mera kostnadseffektivt alternativ till gaskromatografi. (Nguyen, Lagarde, Louarn, & Daniel, 2017, ss. 436–437). I korthet belyses provet med infrarött ljus som exciterar atombindningarnas vibrationsnivåer i provets molekyler. Olika molekyler absorberar ljus vid olika våglängder och resulterar i ett karakteristiskt spektrum för molekylerna i fråga. (Agilent, u.å.a). Alla molekyler vibrerar på olika sätt och då kan man identifiera de olika organiska föreningarna i provet. Det positiva med denna metod är att den är snabb, kräver bara en enkel provförberedelse och förstör inte provmaterialet. Vid tester av syntetiskt förorenat trä kunde man konstatera att metoden var lämplig för identifiering av många olika organiska föroreningar som har använts i träindustrin. Vid tester av äkta träavfall, där proven innehöll flera olika föroreningar, blev analyserna sämre klassificerade. Ett prov som innehåller flera olika föroreningar, ger ett mera komplicerat spektrum och statistiska metoder används för att klassificera de olika föreningarna från varandra. (Nguyen, Lagarde, Louarn, & Daniel, 2017, ss. 436–440).

Den vanligaste instrumenttypen inom infrarödspektroskopi är FTIR-instrument (Fourier Transform Infrared Spectroscopy). Det infraröda spektrumet som fås vid mätningen, jämförs med en stor mängd kända infraröda spektra för olika föreningar i en databas. Ifall det uppmätta spektrumet av infrarött ljus matchar med ett tidigare känt spektrum, kan man anta att föreningarna är identiska eftersom alla föreningar har ett unikt spektrum av infrarött ljus. Även koncentrationen av en förening i ett prov kan bestämmas med FTIR-spektroskopi. Eftersom en FTIR-spektrometer mäter alla ljusvåglängder samtidigt, fås ett analysresultat inom några sekunder. Metoden är enkel, snabb, mångsidig och flexibel. FTIR-spektroskopi kan utföras på prov i vätskeform, fast form eller gasform samt också på halvfasta ämnen eller pulver. (Agilent, u.å.a). Det finns FTIR-spektrometrar som är handburna och då kan man utföra provmätningar både i fält och i laboratorium. Med sådana kan man till exempel analysera beläggningar, kompositer och bulkmaterial. (Agilent, u.å.b). Med FTIR-mätningar på fasta material i en byggnad kunde man snabbt identifiera vilka material som är behandlade med klorfenoler och vilka material som eventuellt kan vara orsaken till den kännpaka lukten av kloranisoler i inomhusluften.

8 LUKTSANERING OCH LUKTKONTROLL FÖR BYGGNAD MED KLORANISOLER

Det finns metoder för hur man sanerar klorfenol- och kloranisolförekomst i både vatten och mark, men ingen enhetlig metod för hur man sanerar byggnader där kemikalierna förekommer (Andersson, 2022a). Lukt som beror på pentaklorfenolbehandlat virke i byggnader, anses vara något av det mest besvärliga att sanera. Källan till lukten är ofta bestrukna, doppade eller tryckimpregnerade syllar eller reglar och då hjälper det inte att till exempel anlägga ett nytt golv ovanpå. Lukten smittas i så fall till det nya golvet. Dessvärre är det är svårt att ge garanti om ett luktfritt hus, oberoende av vilka saneringsåtgärder som väljs. (Ljungby Fuktkontroll & Sanering AB, 2013a).

Vid reparationer av luktskadade källor i byggnader, gör man skillnad på luktsanering och luktkontroll. Luktsanering innebär att man vidtar åtgärder för att avlägsna själva luktkällan, medan luktkontroll innebär att man vidtar åtgärder för att endast avlägsna luktspridningen

från källan. Luktkontroll innebär alltså att luktkällan blir kvar, men följderna av den elimineras. I vissa fall måste såväl luktsanering som luktkontroll användas, för att luftkvaliteten inomhus ska uppnå en god nivå. (Andersson, 2023a).

För att besluta om lämplig renoveringsmetod, bör de luktande ämnena och deras koncentrationer identifieras (Maraun m.fl. 2015). När man väljer åtgärd för att minska lukten, gäller det att också ta reda på orsaken till skadan och utreda skadans omfattning. Lukt som inte smittar till möbler och kläder är lättare att sanera, ifall luktkällan finns på en lämplig plats. Luktsmitta tyder ofta på att större åtgärder krävs och till exempel luktsmittade möbler samt annat lösöre är svåra att sanera. Luktåtgärd väljs enligt utförd konditionsgranskning, men ofta också enligt hur stora ekonomiska medel som finns. Rekommendationen är dock oftast luktsanering, för att helt avlägsna skadepåverkan. Luktkontroll görs ibland som tillfällig åtgärd tills luktsanering påbörjas, eller på grund av ekonomiska skäl. (Andersson, 2023a).

8.1 Luktsanering i form av byte av skadat material

Gällande sanering, i ordets rätta betydelse, finns det enligt Jerker Andersson egentligen bara ett känt sätt. Det är att byta ut allt material som är behandlat med klorfenol och även allt annat material som har blivit luktsmittat. Lukten smittas ofta till klimatskalen och även upp i de aktuella byggnaderna. (Personlig kommunikation 27.12.2023).

Huskonstruktioner som är drabbade av kloranisoler kan ofta saneras genom att ta bort allt trä som är behandlat med klorfenolbaserade produkter (Lorentzen m.fl. 2023). Det är vanligt att kloranisoler lyckas tränga igenom material (Lorentzen m.fl. 2015). Material som har förmåga att dra i sig fukt och kemikalier, tar med tiden upp lukter och kemiska ämnen. Sådana material är till exempel trä, gips, isolering, textilier och plast. Detta kan leda till att lukten sitter kvar i dessa sekundärkällor även om den ursprungliga källan blir sanerad. Därför rekommenderas det vid sanering att såväl byta ut allt ursprungligt skadat material som sekundärskadat material. (Andersson, 2022a).

Såväl ytterväggen som innerväggen kan behöva renoveras på prefabricerade hus med illa lukt. Ifall man bara renoverar ytterskalet och byter ut isoleringen, blir resultatet sällan gott. På lång sikt måste man behandla också trästommen när man byter ut isoleringsmaterialet. (Maraun m.fl. 2015).

Efter att man tagit bort klorfenolbehandlat trävirke ur en byggnad, rekommenderas det att förstöra virket genom förbränning. Att kontrollerat förbränna klorfenolbehandlat trävirke är en bra metod som motverkar att dioxiner sprids. Dioxiner och andra aromatiska ämnen som är klorerade, förstörs under förbränningen. Dioxiner bildas dock på nytt i förbränningsanläggningen i och med konvektion, men de binds i rökgaserna och förs till deponi. Okontrollerad förbränning kan däremot medföra höga utsläpp av dioxiner, eftersom tillförseln av syre inte är jämn. Att föra klorfenolbehandlat virke till deponi anses vara en sämre metod än kontrollerad förbränning, eftersom utsläpp kan ske. (Blomqvist & Jermer, 2008, ss. 26–27).

Utbyte av allt träskyddat och även luktsmittat material sägs alltså vara en säker metod, men med den följer också en del nackdelar. Dessa kan vara stora kostnader, tidskrävande arbete och tillfällig flytt för inneboende under saneringstiden. Dessutom kan mögel, bakterier samt eventuella dioxiner och furaner frigöras när träkonstruktionen rivs. (Ljungby Fuktkontroll & Sanering AB, 2015).

Ett annat alternativ till att delvist få bort lukten kunde också vara att slipa bort materialet som är luktsmittat, menar Lennart Larsson och Johan Mattsson från cTrap AB (Personlig kommunikation 3.1.2024). Halten av pentaklorfenol är ofta störst vid ytan och några centimeter inåt. Lukten kan minskas med metoden, men sällan försvinner den helt eftersom lukten också finns i kärnan av virket samt i sprickor. Sprickor är sällan möjliga att hyvla bort helt. Slipning är tidskrävande och ofta opraktiskt på grund av låg arbetshöjd och trätytor som är gömda. (Ljungby Fuktkontroll & Sanering AB, 2013a).

Lorentzen menar att slipning av impregnerat trä inte är att rekommendera ifall man endast rent mekaniskt tar bort ämnena ytterst i virket och inte gör andra ändringar samtidigt. Ifall man endast slipar, kommer fukten troligtvis att komma tillbaka dit igen på samma sätt som den förut har gjort och leda till omvandling av klorfenoler till kloranisoler. (Personlig kommunikation 6.2.2024).

Det bästa sättet att få bort lukten och problemen anses alltså vara att byta ut allt material som är skadat. Ifall detta anses vara för svårt att genomföra, för dyrt eller olönsamt kan man använda sig av luktkontroll. (Andersson, 2022a).

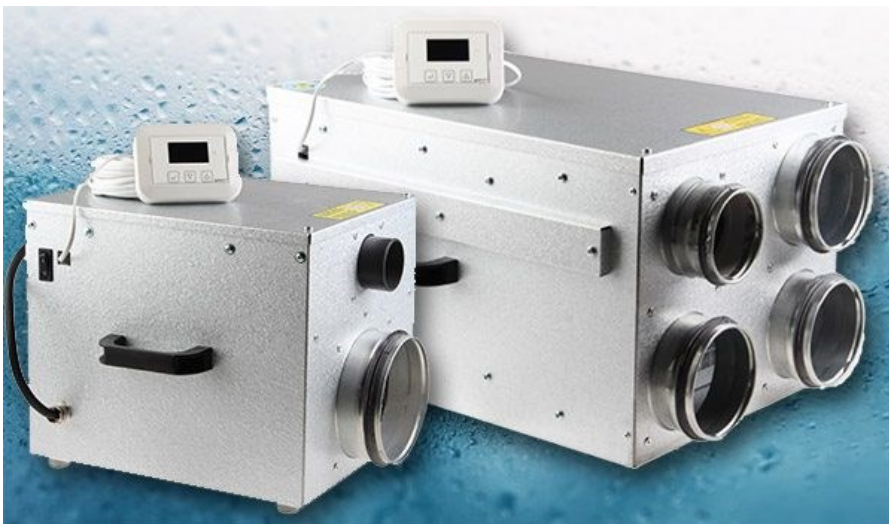
8.2 Luktkontroll

Renoveringsåtgärder för luktkontroll har ett tydligt samband med tätning och inkapsling vid fuktskador, som beskrivs i underkapitlen till kapitel 6.2. Andersson menar att man i stället för att byta ut allt skadat material, kan använda sig av olika åtgärder för att kontrollera lukten. I många fall måste såväl luktsanering som luktkontroll göras, på grund av att lukten även har smittat till material som inte ursprungligen är behandlat med klorfenol och luktsmittan påverkar inomhusmiljön. (Personlig kommunikation 27.12.2023).

Enligt Andersson görs en typ av luktkontroll med avfuktare och undertrycksfläkt i källare, kryppgrunder och torpargrunder. Andra typer av luktkontroller som kan användas är till exempel spärrmålning, eller spärrlaminat samt ett material bestående av en matta av aktivt kol som kallas cTrap. Andersson menar att i Tyskland och andra länder används åtminstone saneringsmetoder såsom utbyte av material, undertrycksättning i exempelvis källare samt kryppgrund, ventilationsförbättring och spärrlaminat. (Personlig kommunikation 27.12.2023 och 3.1.2024).

8.2.1 Avfuktare, undertrycksfläkt och fotokatalytisk luftrenare

Ifall lukt endast konstateras under korta perioder och vissa typer av väderförhållanden eller årstider, kan avfuktare (figur 9) användas för att kontrollera och rena luften. Fuktnivån hålls då under den nivå som är lämplig för mögel och bakterier. Fukt hindras också från att röra sig i byggnadsmaterial. Avfuktaren renar luften, men avlägsnar inte all fukt. (Andersson, 2023a). En avfuktare gör klimatet stabilare och byggnadsmaterialen torrare, vilket leder till att mögel- och bakterietillväxt samt fuktvandring minskar (Ljungby Fuktkontroll & Sanering AB, 2015). Vid användning av avfuktare i grundkonstruktioner, leds de luktande ämnena bort från grunden (Ljungby Fuktkontroll & Sanering AB, 2015). Ett alternativ kunde också vara avfuktare med endast svagt undertryck. Avfuktaren bidrar till att fukthalten i luften är låg och då är det svårare för emissionerna att förflytta sig luftburet. (Ljungby Fuktkontroll & Sanering AB, 2013a).



Figur 9: Ett exempel på en avfuktare. En avfuktare fungerar delvis som luftrenare, eftersom emissioner från byggnadsmaterial fäster sig till luftens vattenmolekyler. (Andersson, 2022b).

Vid mer besvärliga lukter kan en undertrycksfläkt användas som tillägg till avfuktaren. Vid undertryck leds luften ut från grunden och har svårare att ta sig vidare till inomhusluften. Tvärtom leds lite luft från bostaden ner till grunden i stället och via fläkten ut till utomhusluften. (Andersson, 2023a). För att skapa undertryck måste utrymmet vara tätat och detta kan ske med cellplast eller expanderande byggsaum. Isolering av kryppgrund kan också behövs för att undvika kondens mot kalla ytor. (Ljungby Fuktkontroll & Sanering AB, 2020).

Lorentzen förklarar att en åtgärd som ofta används i Sverige, är att sätta kryppgrund i undertryck (Personlig kommunikation 6.2.2024). Ett alternativ till avfuktare med eller utan undertrycksfläkt är fotokatalytisk luftrenare. Luftrenaren kan bryta ner klorfenoler och kloranisoler. (Andersson, 2023a). Fotokatalys innebär att UVC-ljus strålar mot katalysatormaterialet och då bildas oxidativa substanser som är mycket effektiva. Bindningarna i klorfenoler och kloranisoler bryts ner av substanserna. En fotokalytisk luftrenare kan också bilda ozon, vilken är en substans som är aktiv mot luktande ämnen. Djupt sittande klorfenoler och kloranisoler samt deras lukt saneras inte bort med en fotokalytisk luftrenare, men metoden är trots det bra för att sanera ytor och minska spridningen av giftiga kemikalier. I en plintgrund kan man använda luftrenare ifall det går att bygga plintgrunden till en tätare grund genom att exempelvis montera socklar runt hela grunden. (Andersson, 2022a).

Ett alternativ för att få bort lukten sägs ofta vara ozongenerator och ozonaggregat, men dessa är trots allt inte lämpliga eftersom ozon inte kan gå in i material som är gömda eller hårda. Ett exempel på ett ställe, dit ozonet inte når, är isolering som finns i en byggnads klimatskal. (Andersson, 2022a). Ozon går inte heller genom hårda byggnadsmaterial, såsom betong och trä (Andersson, 2023a). Ozon och fotokatalys fungerar på ytor och i luft, men inte för klorfenol samt kloranisol som ofta sitter djupt inne i byggnadsmaterialen (Andersson, 2022a).

En metod för att minska lukt i bostaden, till exempel i lösöre och byggnadsmaterial, är uppvärmning av hela bostaden eller separata rum till ungefär 35 grader i kombination med kondensavfuktare och fotokatalytisk luftrenare (Ljungby Fuktkontroll & Sanering AB, 2015; Andersson, 2023a). Tillsammans kan avfuktaren och värmen leda bort lukt och fukt från material som dragit i sig (Lorentzen, Johanson, Juran, Nilsson, & Nordin, 2015). När fukten värms upp, vandrar den ut från byggnadsmaterialen (Andersson, 2023a). Avfuktaren ökar fuktrörelserna och när kloranisollukten kommit till ytan av materialen eller ut till luften, så följer de luftburna kloranisolerna med avfuktarens kondens till den fotokatalytiska luftrenaren och bryts ner i den (Ljungby Fuktkontroll & Sanering AB, 2015; Andersson, 2023a). Denna metod ska göras under några dygn eller en veckas tid. Materialet, som varit luktsmittat av kloranisoler, behöver återfå sin fukt och därför använder man sig av luftfuktare på låg nivå i samband med fotokatalytisk luftrenare. Sedan upprepas processen med uppvärmning, avfuktare och luftrenare. Innan man åtgärdar lukten med ovanstående metod, ska man kontrollera ifall träskyddsbehandlat virke förekommer i ytterväggarnas reglar eller panel. Ifall det förekommer, kan metoden tvärtom dra in mera kloranisoler genom innerväggen. (Ljungby Fuktkontroll & Sanering AB, 2015).

8.2.2 Ventilation

Ifall man har problem med kloranisollukt är det lönsamt att se över ventilationen. Felaktig eller underdimensionerad ventilation kan bidra till att ytterligare ämnen och föroreningar samlas i inomhusluften. Vid mycket högt undertryck i en byggnad dras oönskade ämnen, i detta fall klorfenoler, in i huset. Högt övertryck är inte heller gynnsamt, eftersom fukt pressas ut i husets klimatskal vintertid. Det kan göra att skador i konstruktionerna kan uppstå eller bli värre. (Andersson, 2022a).

Andersson säger att ifall ventilationsförhållandena är bristfälliga krävs även att man ökar ventilationen (Personlig kommunikation 27.12.2023). Vid hög ventilation minskar luftens halt av luktande ämnen (Andersson, 2023a). Ökad ventilation gör att halten av luftföroreningar minskar, men de sprids fortfarande till inomhusluften (cTrap AB, u.å.).

Andersson framhåller att god eller förbättrad ventilation kan användas som luktkontrollerande åtgärd ifall ventilation saknas helt, är felaktigt justerad eller bristande. Luktproblemet kan däremot inte helt lösas med ventilationsåtgärder. Lukten kan minska, men sällan uteblir den helt. I vissa fall gällande skolor, har man med ventilationen skapat övertryck inomhus för att lukter inte så enkelt ska ta sig in från de skadade områdena. Ibland lyckas det, men det finns risker att övertrycket medför fuktskador i byggnadens klimatskal. Fuktskadorna uppkommer då fuktig och varm luft inifrån kan gå ut till klimatskalen på grund av övertrycket. Under vinterhalvåret är det störst risk för fuktskador av denna typ. Tvärtom kan också ett alltför högt undertryck leda till att luft kommer in via klimatskalens otätheter. Ett tidvist förekommande problem med ökad ventilation, är att lukter kan ta sig in eller sprida sig mera än innan. (Personlig kommunikation 3.1.2024).

8.2.3 Tätning av luftläckage

Lorentzen menar att tätning av luftläckage i praktiken kan vara svårt (Personlig kommunikation 6.2.2024). Det är ändå viktigt att täta de springor som finns i kloranisolluktande huskonstruktioner, eftersom lukter kan ta sig in i byggnader via otätheter (Andersson, 2023a). Dessa springor kan exempelvis finnas mellan vägg och golv, vägg och tak, runt elkontakter och runt rörgenomföringar. Som tätningsmaterial används elastisk tätningsmassa för inomhusbruk. (Andersson, 2022a). När man tätar springan mellan vägg och golv, alternativt vägg och tak, ska man först avlägsna golvlisterna och sedan täta noggrant med elastisk fogmassa. Det kan också vara lönsamt att täta dörrkarmar och dörrfoder till källardörrar inomhus. (Andersson, 2023a).

Ifall stora läckage hittas, kan man i stället för fogmassa använda sig av fogskum (Andersson, 2023a). Dock ska inte silikonmassa användas, eftersom den ofta luktar ättika och den illa lukten kan i sin tur leda till att flera inomhusluftsproblem uppstår (Andersson, 2022a). Mineralull rekommenderas inte heller som tätning, eftersom den inte kan motstå luftrörelser (Andersson, 2023a).

Enligt Huttunen kan konstruktionens uttorkningsförmåga minskas då okontrollerade luftläckage tätas. Det är en sak som ofta glöms bort då man till exempel tätar en fuktskadad smygsockel. Efter tätningen finns det inte längre ett konstant luftflöde som håller konstruktionen torr och därför kan skadorna till och med öka. Däremot hjälper tätning på kort sikt mot att förhindra lukter att ta sig in till inomhusluften. (Personlig kommunikation 12.4.2024).

8.2.4 Spärrfärg och saneringsvätska

Spärrmålning är en metod av luktkontroll. Spärrfärg, eller patinering som den också kallas, är en färg som är tätare än vanligt och den används för målning inomhus. Kloranisolerna försvinner inte vid målning, men spärras in i det material som finns bakom målfärgen. (Andersson, 2022a). Däremot är det oklart om vanlig målning eller tapetsering fungerar på samma sätt, eftersom de är mer otäta (Andersson, 2023a).

Vid spärrmålning är det viktigt att tänka på att virket som målas inte är fuktigt. Ifall virket är för fuktigt, hinner lukten tränga sig igenom det målade skiktet innan det har torkat. Spärrmålning har nog minskat på byggnadsmaterialens utsläpp, men ofta inte i tillräckligt stor grad. En av anledningarna är att trä rör sig och då kan sprickor uppstå, var utsläppen kan ta sig ut. En annan anledning till att spärrmålning inte är optimalt, är uppkomst av eventuella rötskador ifall fukt skulle uppstå i virket och fukten inte effektivt kan avlägsnas sig genom spärrmålningen. (Ljungby Fuktkontroll & Sanering AB, 2013a). Dessutom kan ohälsosamma kemiska ämnen avges från spärrfärg (Ljungby Fuktkontroll & Sanering AB, 2015).

Bestrykning av saneringsvätskor är en bra metod mot mögelangrepp. Däremot är det inte optimalt för klorfenolbehandlat trä på grund av att vätskornas innehåll är främst vatten samt också möjliga lösningsmedel. Dessa kunde leda till att pentaklorfenol sönderdelas ännu snabbare. (Ljungby Fuktkontroll & Sanering AB, 2013a).

Lorentzen rekommenderar att man inte bestryker någon vattenlösning över träkonstruktioner som innehåller klorfenoler, eftersom vattnet kan medföra nybildning av kloranisoler (Personlig kommunikation 7.2.2024). Enligt Jukka Huttunen (Personlig kommunikation 21.2.2024) förvärras problemen om man använder sig av kemikalier

menade för desinficering och luftborttagning, där nedbrytningsprodukterna är vatten och syre. Sådana kemikalier ska inte användas som saneringsåtgärd.

8.2.5 Spärrskikt

Spärrskikt har använts som saneringsmetod i Sverige och i Tyskland, menar Lorentzen (Personlig kommunikation 6.2.2024). Ett spärrskikt är en tät laminerad folie, vilken monteras på det material som avger kloranisollukt (Andersson, 2022a). Andersson förklarar att spärrlaminat ofta består av en aluminiumfolie, som är laminerad med olika plastskikt. Lamineringen görs både för att folien ska bli tätare och för att hållbarheten hos den ska förbättras. (Personlig kommunikation 3.1.2024).

Johnny Lorentzen menar att ett spärrskikt som är aluminiumbaserat, inte släpper igenom någonting. Så länge spärrskiktet hålls helt, borde det vara en fungerande lösning, anser han. Däremot stoppar inte andra material alla typer av molekyler. Till exempel plast stoppar inte vatten till 100 %, utan hur bra de stoppar beror på plastens och de kemiska ämnens sammansättning. (Personlig kommunikation 6.2.2024).

Spärrskiktet får dock inte orsaka att halten av fukt i ett känsligt material blir för hög. Skiktet kan monteras mot kryppgrundens tak, platta på mark, innertak och innerväggar. Vid montering ska man beakta att det i golv och väggar kan finnas byggplast. Då finns det risk att det skapas en spalt där fukt kan komma in, men inte avlägsna sig. För att undvika fuktbelastning får det inte i konstruktioner finnas två olika spärrskikt med avstånd emellan. Spärrskiktet ska sättas mot den sida av konstruktionen som är varmare. Enda undantaget är platta på mark, var skiktet sätts direkt emot plattan. (Andersson, 2022a).

8.2.6 Smarta ångbromsar av polyamid

Enligt resultat från utförda laborietester i examensarbetet av Mette Envall kunde smarta ångbromsar fungera som renoveringsmetod mot kloranisollukt. Tester gjordes bland annat med de smarta ångbromsarna Isover Vario Xtra, Isover KM Duplex UV och företaget Pro Climas Intello för att se om de släppte igenom lukt av kloranisoler. Det konstaterades att Intello släppte igenom lite lukt, Isover KM Duplex UV ytterligare lite mindre lukt och att Isover Vario Xtra klarade att helt hålla borta lukten vid testerna. (Envall, 2017, ss. 28–29).

Däremot har inte andra källor hittats på att skikt såsom Isover Vario Xtra och Intello använts mot dessa typer av luftföroreningar. Vid kontakt med en tysk professor sade han (Personlig kommunikation 7.3.2024), att han inte har hört om polyamidbaserade dukar för sanering av kloranisoler. Via e-post förklarade personal från företaget Isover Saint-Gobain i Sverige (Personlig kommunikation 7.3.2024) att de inte har sålt Isover Vario Xtra för sanering av kloranisoler och inte heller har undersökt saken vidare. Personal på Isover Saint-Gobain i Finland berättade (Personlig kommunikation 7.3.2024) att de varit med och handlett ett examensarbete om polyamidbaserade inkapslingslösningar för PAH- och MVOC-föreningar, men att de inte visste om kloranisoler ingick där. Det examensarbetet tycks heller inte gå att få tag på via internet. De berättade också vidare (Personlig kommunikation 13.3.2024) att de inte har sålt produkter för sanering av kloranisoler och inte heller har undersökt saken vidare. Försök har även gjorts att få tag i andra företag, men det har inte lyckats.

Hos företaget Pro Clima hittas olika varianter av den smarta ångbromsen Intello. Produkten släpper igenom fukt och därför är den ett bra skydd mot fukt- samt mögelskador. Vintertid minskar eller stoppar Intello fukt från att tränga inåt och sommartid möjliggörs uttorkning med en öppnare molekylstruktur där fukt kan gå utåt. Produkten passar med olika typer av isolering, den är lätt att arbeta med, har lång livslängd och den är testad officiellt. Intello kan användas för väggar, tak och golv med antingen diffusionsöppna eller diffusionsstängda utsidor. Diffusionsstängda ytor, var fukt inte kan tränga ut, är till exempel branta plåttak. Intello är därför lämplig för såväl platta som sneda tak. Montering görs helst så att den släta ytan av ångbromsen, var trycket finns, monteras mot byggnadens insida och fästs med tejp till stommen. Montering av Intello kan ses i figur 10. (Pro Clima, u.å.).



Figur 10: Montering av Intello i väggar och tak. Fogar tätas med tillhörande tejp. (Pro Clima, u.å.).

Isover Vario Xtra är en variabel ångbroms med egenskaperna att vara fuktgenomsläpplig och lufttät samtidigt (Isover Saint-Gobain, 2022). Den är en förbättrad variant av den tidigare produkten Isover KM Duplex UV och den passar bättre i det kalla klimatet i Norden (Isover Saint-Gobain, u.å.). Isover Vario Xtra är en folie av polyamid med ett bärsnitt av non-woven. Folien kan användas i väggar, tak och golv i byggnader med normal eller låg fuktighet. Till skillnad från andra plastfolier kan Isover Vario Xtra hantera fukt på ett bra sätt. Den tar upp fukt molekyler från den sida av folien var fuktigheten är högre och avger fukten till sidan med lägre fuktighet. (Isover Saint-Gobain, 2022). På så sätt kan konstruktionerna torka både inåt och utåt, speciellt på somrarna torkar konstruktionerna (Isover Saint-Gobain, u.å.). Bärsnittet ger styrka och ytterst liten töjning när polyamidfolien utvidgas vid fuktupptagning. Luft kan dock inte passera folien, eftersom plastytan hindrar det. Isover Vario Xtra har utvecklats från en lösning som gjordes vid byggforskningsinstitutet Fraunhoferinstitut IPB i Tyskland. Den variabla ångbromsen har använts bland annat för att göra kallvindar till bostäder, utan att med omfattande åtgärder behöva installera en ventilerad luftspalt. (Isover Saint-Gobain, 2022). Den har också

använts för fritidsbostäder som är kalla under vissa delar av året. Vid montering ska man tätta fogarna med tillhörande tejp. (Isover Saint-Gobain, u.å.).

I sommarstugan i Karleby, beskriven som exempel i kapitel 4.2, användes flera olika renoveringsmetoder. Dessa var byte av skadat material, inkapsling och installation av maskinell ventilation. Alla ytmaterial på tak, golv samt väggar revs och luktsmittat isoleringsmaterial togs bort (figur 11). Insidan av byggnaden täcktes sedan in med lufttätningsskiktet Isover Vario Xtra (figur 12 och 13). I övre bjälklaget avlägsnades, förutom ytmaterial, också aluminiumpappret. Därefter monterades först lufttätningsskiktet inifrån, sedan skålning över det och sist nytt ytmaterial. Det nedre bjälklagets plankgolv revs och sågspån avlägsnades. Sedan monterades ny isolering, fanerskivor, lufttätningsskikt och överst nytt golvmaterial. Ytterväggarnas innerpanel revs också och lufttätningsskiktet monterades direkt på stockarna. Därefter anlades skålning, ny tilläggsisolering och ett nytt ytmaterial. På mellanväggarna monterades lufttätningsskiktet samt ny stockpanel på båda sidorna av dem.



Figur 11: Sommarstugans alla ytmaterial på väggar, golv samt tak är bortrivna och all isolering har avlägsnats.



Figur 12 och 13: Montering av lufttätningsskiktet Isover Vario Xtra på tak och väggar. Tätning görs med anpassad tejp och ovanpå skiktet monteras nytt ytskikt såsom panel på väggarna.

8.2.7 Matta av aktivt kol, cTrap

I Sverige har man uppfunnit ett material som binder och förhindrar ytutsläpp. Materialet är en matta av aktivt kol som fungerar så att vattenånga går igenom det, men däremot inte luft. Den förhindrar att flyktiga föreningar samt kemikalier avges från ytskiktet av mattan till inneluften eller konstruktioner. Montering kan ske på väggar, golv eller tak och den har testats i byggnader med dålig inneluft. Enligt denna källa är det negativa med materialet att man inte vet hur lång livslängd det har. (Weijo m.fl. 2019, ss. 67–68). I figur 14 kan man se en mycket beskrivande bild av mattans användningsområden, uppbyggnad och montering.

Mattan av aktivt kol går under namnet cTrap och är en funktionell duk, vilken är utvecklad vid Lunds universitet i Sverige (Larsson m.fl. 2021, s. 1). Duken kan användas vid inomhusluftproblem såsom bland annat olika typer av lukter, mögel, golvemissioner, tobaksrök från intilliggande lägenhet eller impregneringsmedel. Orsaken till dålig kvalitet på inomhusluften är ofta partiklar och kemikalier som utges från tak, väggar eller golv i en byggnad. Utsläppen kan avges från färg, lim, spånskivor eller isolering. Partiklarna kan i sin tur komma från kemikalier såsom till exempel klorfenoler, som använts som fuktskydd eller

impregneringsmedel. Vanliga symtom som emissionerna ofta orsakar är problem med hud, luftvägar och slemhinnor samt trötthet och huvudvärk. cTrap behövs i de byggnader där det finns problem med lukter eller de inneboende får sjuka hus symtom när de vistas inomhus. (cTrap AB, u.å.).

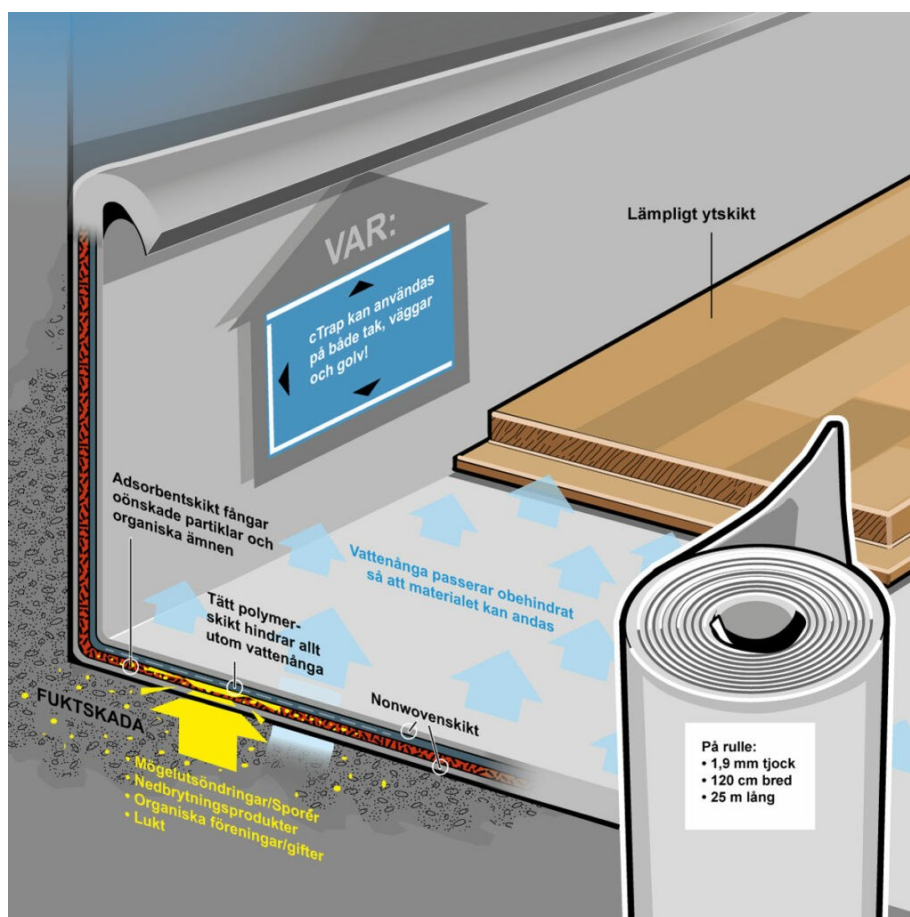
Enligt Lennart Larsson på företaget cTrap AB är cTrap patentskyddad i ett tiotal länder och det finns ingen liknande produkt någon annanstans i världen. Försäljningen av cTrap är för tillfället främst riktad till den nordiska marknaden. (Personlig kommunikation 27.12.2023 och 3.1.2024).

cTrap är uppbyggt av fyra skikt. Skikten hindrar gemensamt emissioner från att nå inomhusluften. Det första lagret, inre lagret, installeras mot skadekällan och består av materialet nonwoven polyester med luddig yta. (cTrap AB, u.å.). Det andra lagret är adsorptionsskiktet och i detta lager adsorberas och förblir emissionsutsläppen (Larsson m.fl. 2021, s. 2). Det tredje lagret är polymerskiktet och det är lufttätt samtidigt som det ej är fukttätt (cTrap AB, u.å.). Här effektiveras upptaget av emissionerna genom att eventuella flyktiga organiska föreningar som gått genom adsorptionsskiktet, studsar tillbaka till adsorptionsskiktet då de träffar polymerskiktet (Larsson m.fl. 2021, s. 2). I polymerskiktet stoppas eventuella emissioner utifrån från att ta sig till adsorptionsskiktet (cTrap AB, u.å.). Adsorptionsskiktet och polymerskiktet gör tillsammans att uppsugningen bara kan gå i en riktning. Vid forskning har man kunnat konstatera att även små emissionspartiklar förhindras av denna kombination av adsorptions- och polymerskikt eftersom duken är lufttät (Larsson m.fl. 2021, s. 1–2). Det fjärde och yttersta lagret består, liksom det inre lagret, av materialet nonwoven polyester (cTrap AB, u.å.). Det yttre och det inre lagret skyddar de andra skikten (Larsson m.fl. 2021, s. 2).

cTrap stoppar utsläppen från byggnadsmaterialen att nå inomhusluften, eftersom utsläppen i stället binds i cTrap-duken. På samma gång renas konstruktionen från de toxiska ämnena. (cTrap AB, u.å.). Larsson och Mattsson (Personlig kommunikation 3.1.2024) beskriver att cTrap-duken även är VOC-tät och emissionerna från byggnadsmaterial kapslas in i duken och lämnar på så sätt inte kvar i själva konstruktionen. Larsson förklarar att emissioner i stället stängs in mellan konstruktionen och adsorbenten i den VOC-täta duken. Emissionerna kan sedan inte ta sig från duken. (Personlig kommunikation 6.5.2024). Fuktrörelser kan däremot med lätthet gå igenom duken och därför bibehålls byggnadens

naturliga fuktbalans (Larsson m.fl. 2021, s. 2). Kondens uppstår inte och således medför cTrap inte mögelproblem på konstruktionen bakom duken (Larsson m.fl. 2021, s. 2; cTrap AB, u.å).

Ett väldigt nödvändigt första steg i saneringsprocessen med cTrap är torkning. Då stoppas vidare reaktioner mellan fukt och byggnadsmaterialet i fråga. Däremot är det inte tillräckligt att endast åtgärda problemet med torkning, på grund av att kemikalierna som har bildats av fukt kvarstår och går vidare ut i inomhusluften. Ifall synligt mögel finns på konstruktionen som ska täckas in med cTrap, så bör det först avlägsnas med mekaniska eller kemiska metoder. Vilka metoder som väljs vid sanering planeras med professionella skadeutredare och då beaktas relativ fukthalt och typ av ytmaterial. (Larsson m.fl. 2021, s. 1–3).



Figur 14: Sammanfattande bild av vad cTrap kan användas mot, hur duken är uppbyggd, montering och materialets mått (cTrap AB, u.å.).

cTrap kan monteras på alla typer av underlag, utan att medföra fuktproblem (cTrap AB, u.å.). Duken monteras så att den täcker de ytor, varifrån emissioner utges (Larsson m.fl.

2021, s. 1). Den tejpas i kanter, vid skarvar och genomföringar. På tak och väggar fästs den med häftklammer eller reglar. Då duken monteras på vägg eller tak, monteras även tunna gipsskivor ovanpå. När den monteras på golv, monteras ett valfritt golv över. (cTrap AB, u.å.). Ifall man monterar cTrap på fuktavgivande konstruktioner, exempelvis ett betonggolv, ska man först montera en fuktspärr (Larsson m.fl. 2021, s. 2). Detta görs för att cTrap-duken inte ska vara instängd i fukt (cTrap AB, u.å.).

Larsson påpekar att erfarenheten av att använda cTrap för att stoppa klorfenoler och otäckt luktande kloranisoler i byggnader är mycket bred och god (Personlig kommunikation 27.12.2023). Många års erfarenhet samt akademiska studier har pekat på att cTrap-duken är effektiv med att binda in emissioner. Inomhusluften blir renare och friskare redan minuter eller timmar efter installationen. Symtomen som funnits innan minskar eller försvinner helt. Kapaciteten hos duken är mycket hög och den verkar under byggnadens hela livslängd. cTrap bedöms ha en tillräckligt lång livslängd med tanke på mätningar av allmänt förekommande emissioner i byggnader jämfört med dukens kapacitet av adsorption. (cTrap AB, u.å.). Duken möjliggör ett miljövänligt, snabbt, effektivt och ekonomiskt sätt att återställa en god inomhusluftskvalitet i fuktdrabbade byggnader (Larsson m.fl. 2021, s. 3).

Vid mätningar före och efter installation av cTrap-duken, har den konstaterats vara mycket effektiv. Ett test hade gjorts i en sommarstuga av trä byggd år 1964, med så kallad sommarstugelukt. I detta fall studerades sovrummet och vardagsrummet. Konstruktionerna var behandlade med klorfenolbaserade impregneringsmedel och på grund av fukt hade klorfenolerna omvandlats till kloranisoler och därav kom lukten. Sovrummets tak, väggar och golv täcktes in med cTrap. Vardagsrummet täcktes inte in. Därefter gjordes luftprovtagning för att se förekomsten av klorfenoler och kloranisoler. I vardagsrumsluften kunde tetraklorfenol, trikloranisol och pentakloranisol hittas. I sovrummet upptäcktes endast en liten mängd tetraklorfenol, medan de andra föreningarna var så små att de var under detektionsgränsen. Den illa lukten försvann i sovrummet. (Larsson m.fl. 2021, s. 2).

Ett annat exempel är en kommunal förvaltningsbyggnad i Sverige, där trapphusens träkonstruktioner hade blivit behandlade med klorfenoler under byggskedet. Därför fanns en stark och stickande lukt av kloranisoler i trapphusen. Man jämförde två

saneringsmetoder inför sanering. Den första var att det klorfenolbehandlade materialet togs bort och den andra var att materialet lämnades kvar samt täcktes in med cTrap. Lukten försvann endast med den andra metoden, alltså genom att använda cTrap. (cTrap AB, u.å.).

Huttunen föreslog att man skulle kunna använda både cTrap samt Intello eller Isover Vario Xtra för sanering av kloranisoler. Först skulle man installera cTrap-duken och sedan Intello eller Isover Vario Xtra ovanpå. Hörn och anslutningar skulle tätas noggrant. Fördelarna med att kombinera dessa två lager är att knappt några föroreningar kan ta sig igenom, samtidigt som konstruktionen är vattenånggenomsläpplig och har uttorkningsförmåga. Det negativa är att det blir relativt dyrt, men fortfarande billigare än rivning. (Personlig kommunikation 5.4.2024).

8.2.8 Saneringsmetoder i prefabricerade hus

I Tyskland använder man bland annat ventilation och dukar av aktivt kol som åtgärder mot klorfenoler och kloranisoler. Lösningen på klorfenol- och kloranisolproblemen är inte en särskild lösning som passar för alla hus, utan i stället måste man använda sig av flera åtgärder samtidigt för att problemen helt och även på lång sikt ska försvinna. Renoveringar beaktar ofta också energiuppgraderingar. (Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie, u.å.).

En tysk rekommenderad åtgärd går ut på att man öppnar väggkonstruktionens fack och detta görs helst från utsidan. Panelen, isoleringsmaterialet och byggfolier ska bytas ut. Sedan ska man behandla allt drabbat trävirke, som är tillgängligt, med en färg som blockerar pentaklorfenolerna. Sist installeras en värmeisolerande enstegstätad fasad för att luftfuktigheten ska hållas låg. Genom detta förbättras samtidigt byggnadens energieffektivitet. Ifall lukten är mycket stark, kan man även täta uttag för ytterligare eliminering av lukten. Man kan också tillsätta aktivt kol till de byggnadsdelar som blivit kvar i facken, så att emissionerna minskar. Möbler och textilier måste antingen rengöras ordentligt eller helt bytas ut. Dukar med aktivt kol kan också installeras för att avlägsna eventuella kloranisoler som finns kvar i inomhusluften. (Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie, u.å.). Dukarna med aktivt kol består av två lager med aktivt kol mellan sig och sådana produkter finns det stort urval av, beskrev Jan Gunschera (Personlig kommunikation 7.3.2024) som är doktor på avdelningen för materialanalys och inneluftsteknik hos tyska Institutet Fraunhofer WKI som forskar om trä. På grund av

ekonomiska orsaker kan man också göra tillfälliga åtgärder, i väntan på en större renovering när ekonomin är bättre. Som en sådan åtgärd nämns ventilationsinvesteringar, som senare kan integreras i en helhet i ett större ventilationssystem. (Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie, u.å.).

Att tillsätta aktivt kol till de byggnadsdelar som blivit kvar i facken är en del av en patenterad metod för att minska eller förhindra lukt och föroreningar i inomhusluften. Adsorbenter förs in i hålrummen mellan ytter- och innerväggarna och de binder de flyktiga, luktande samt toxikologiska ämnena som finns där. De luktande ämnena samt föroreningarna avges ofta från ramkonstruktioner och när de tas upp av adsorbenterna, förhindras de från att komma ut i inomhusluften och till de boende. Adsorbenterna har en stor yta, var ämnena fästs med kemiska eller fysikaliska bindningar. Bindningarna som uppstår mellan de luktande kemiska ämnena och adsorbenterna är permanenta. Adsorbenterna kan införas i hålrummen på flera olika sätt. Ett sätt är att blåsa in adsorbenter under tryck. Ett annat är att sätta dit porösa isoleringsmaterial med innehåll av adsorbenter. Ett tredje är att fylla hålrummen med skum av adsorbenter. För sura ämnen, exempelvis fenoler, fungerar basisk kiselgel eller kalk som adsorbenter. Även aktivt kol eller polyuretanskum är lämpliga adsorbenter för bindande av 2,3,4,6-tetrakloranisol och pentakloranisol. (Tyskland Patentnr. DE 103 10 455 B4, 2008, s. 1, 3).

Renoveringen kan utföras som total- eller delrenovering, med beaktande av rummens och ytterväggsfackens placeringar. Rum mot norr, nordväst och väst är mest utsatta för fuktbelastning hos material på grund av mindre solljus där. Att renovera utifrån är bättre eftersom spånskivorna mot utsidan ofta är mycket förorenade och måste bytas ut. En utmaning för till exempel hus med tegelfasad, är att det är väldigt arbetskrävande och ansträngande att renovera från utsidan. (Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie, u.å.).

Av Jan Gunschera (Personlig kommunikation 12.2.2024) fick jag tips om två tyska företag som utför sanering av klorfenoler och kloranisoler i byggnader. Företaget Renopan Fertighaus-Sanierung utför renoveringar av prefabricerade hus byggda år 1960 eller senare. De erbjuder rådgivning, planering, byggande och kvalitetskontroll. (Renopan - Fertighaus-Sanierung, u.å.a). Företaget ok Bauservice erbjuder liknande tjänster och en speciell expertis de har, är renovering av prefabricerade hus av tillverkaren OKAL (ok Bauservice, u.å.a).

Genom sanering försvinner lukten sällan helt, men den minskar betydligt. Hos företaget Renopan Fertighaus-Sanierung öppnar man först husets ytterväggar och avlägsnar delvist de drabbade materialen. Sedan målas den klorfenolbehandlade konstruktionen med en så kallad dispersionsfärg vid namn renopan ToxStop. Färgen omsluter stommen som ett skyddsskikt och då förblir det giftiga träskyddsmedlet kvar i den behandlade byggnadsdelen. Sedan monteras ett särskilt tyg av fårull, benämnt renopan AirClear, över konstruktionen. Tyget stoppar eventuella kloranisoler som finns kvar. Genom att isolera utvändigt med byggnadstekniskt fungerande isolering, förhindras fukt från att bidra till nybildning av kloranisoler. Ytterväggen är genomsläpplig för ånga och fuktbalansen regleras då konstruktionen kan torka ut. Efter att utvändig renovering har gjorts, rekommenderas även invändig renovering. Invändig renovering fungerar som stödande åtgärd och bidrar till luktborttagningen. Vissa ytterväggar är svåråtkomliga utifrån och i sådana fall kan man också använda sig av invändig renovering. Det fungerar även att använda sig av invändig renovering om enbart särskilda rum har en illa lukt. (Renopan - Fertighaus-Sanierung, u.å.b).

Renopan ToxStop är en vattenlöslig akrylatdispersionsfärg (Renopan-Fertighaus-Sanierung, 2009). Skyddsfärgen innehåller aktiva ingredienser för att bryta ner och fixera träskyddsbiocider såsom exempelvis pentaklorfenol (Renopan-Fertighaus-Sanierung, 2009; Renopan-Fertighaus-Sanierung, u.å.c). Eftersom föroreningarna fixeras, kan de inte orsaka lukter eller inomhusproblem (Renopan-Fertighaus-Sanierung, u.å.c). Färgen kan användas för trä som inte utsätts för väderpåverkan, men passar inte för målat trä. Den är en biologiskt ofarlig, förberedningsfri bestrykning som skyddar mot farliga utsläpp. Färgen ska bestrykas på det torra och rena träet minst två gånger (figur 15) och den bör låta torkas mellan varje bestrykning. Färgen är först mjölkvitt, men blir klar då den har torkat. (Renopan-Fertighaus-Sanierung, 2009).



Figur 15: Bestrykning av renopan ToxStop på behandlad träyta (Zimmerer-Profibau Fertighaussanierung, u.å.b).

Renopan AirClear Absorbin (figur 16) är en absorberande duk av kompositmaterial som också finns att fås med fuktvariabel laminerad ångbroms (Renopan-Fertighaus-Sanierung, u.å.c; Renopan-Fertighaus-Sanierung, 2018). Duken är speciellt gjord för att förhindra illaluktande utsläpp från golv samt tak och föroreningar bryts ner samt neutraliseras av den (Renopan-Fertighaus-Sanierung, u.å.c; Renopan-Fertighaus-Sanierung, 2018). Den består av 100 % lösningsmedelsresistent och vattenlösliga proteiner i form av elastiska fibrer. Proteinerna utgörs av cirka 24 olika aminosyror och 65 % av dessa aminosyror har reaktiva grupper som kan reagera med kemiska föreningar samt neutralisera dem. Luftföroreningar absorberas i duken och denna process är vetenskapligt bevisad med lång erfarenhet, men i nedan nämnda källa framgår tyvärr ingen källa för denna vetenskapliga bevisning. Renopan AirClear Absorbin används främst för sanering av lukter och föroreningar i ytterväggarna i prefabricerade hus, speciellt var ångbromsen har avlägsnats. Ifall ångbromsen har avlägsnats vid renovering, kan man genom att installera Renopan AirClear Absorbin med ångbroms, undgå att installera en separat ångbroms. Duken är diffusionsöppen, tålig, har en skyddande yta och en väldigt hög absorptionsförmåga för både klorfenoler och kloranisoler. Innan montering ska man torka och rengöra underlaget. Duken fästs med häftapparat och i ytterväggar bör häftstiften vara rostfria. Fogarna mellan duken ska överlappa varandra med 50 mm och de ska lufttätas med lämplig tejp. (Renopan-Fertighaus-Sanierung, 2018).



Figur 16: Användning av Renopan AirClear Absorbir vid sanering (Zimmerer-Profibau Fertighaussanierung, u.å.b).

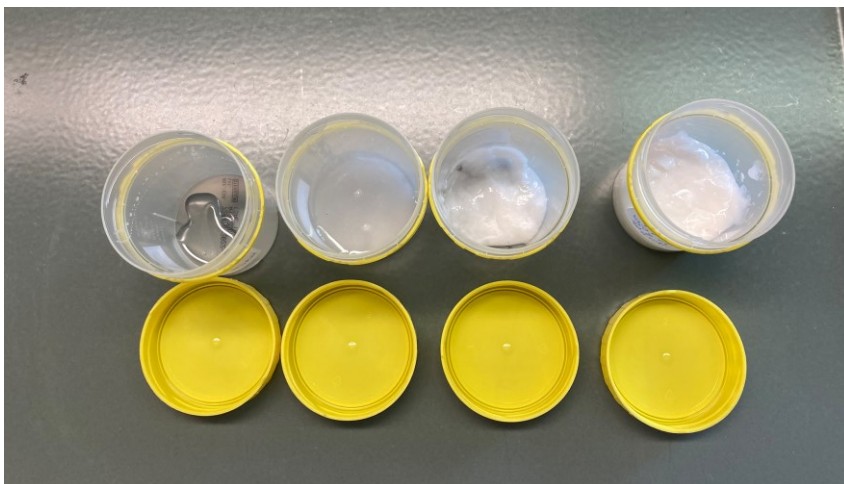
Enligt nedan nämnda källa beskrivs sanering av kloranisoler på liknande sätt, eftersom saneringen görs med den patenterade metoden hos det tidigare nämnda företaget Renopan Fertighaus-Sanierung. Först tas den yttre panelen bort, vilken ofta är förorenad med pentaklorfenol, och sedan avlägsnas även mineralullen. Träramen behandlas med föroreningsförstörare, så att emissionerna från pentaklorfenol minskar. Ytterväggens fack rengörs med kalkmjölk för att bryta ner de mikrober som orsakar lukt och därefter monteras duken renopan Airclear, eftersom den både skapar ett lufttätt lager och bryter ner lukter. Sist monteras ny isolering, panel, ett ventilerat värmeisoleringsystem och rappning ovanpå. (Zimmerer-Profibau Fertighaussanierung, u.å.a).

Hos företaget ok Bauservice använder man sig av en metod som beskrivs väldigt liknande som den hos företaget Renopan Fertighaus-Sanierung. Den går ut på att man öppnar fasaden, behandlar träkonstruktionen med skyddande beläggningar och byter ut isoleringen. Sedan byggs en ny enstegstätad fasadkonstruktion upp, med värmeisolering och en utsida av rappning eller klinker. Den enstegstätade fasaden är en god åtgärd med tanke på energieffektivitet och kostnadsbesparingar. Det andra alternativet de erbjuder är renovering av väggen från insidan. Då tas först invändig väggpanel bort, sedan den förorenade isoleringen och den yttre spånskivan. Därefter ska man behandla den träskyddade konstruktionen med en icke-toxisk produkt, som förstör föroreningarna. (ok Bauservice, u.å.b).

8.2.9 Cyklodextrin-gel samt plasmateknologi

I Tyskland har man förut använt saneringsåtgärder såsom isolering av förorenade områden och utbyte av träskyddsbehandlat material. Problemet med dessa åtgärder är att de varken är kostnadseffektiva eller hållbara. Nu utvecklar forskare ett nytt sätt att avlägsna föroreningarna i ett projekt som kallas CycloPlasma vid Fraunhofer Institute for Building Physics IBP i kommunen Valley i Tyskland. Sättet fungerar för avlägsnande av föroreningar i såväl träkonstruktioner som i luften. Det är hållbart samt miljövänligt och utgör inga risker för hälsan. Konstruktionsmaterialet förblir kvar i byggnaden och därför medför sättet inget restavfall. (Fraunhofer Institute for Building Physics IBP, 2024).

Sättet går ut på att forskare använder ett absorberande material för att avlägsna föroreningar från träkonstruktionen, i samband med plasmateknologi för att rena den förorenade luften inomhus (Fraunhofer Institute for Building Physics IBP, 2024). Som det absorberande materialet används cyklodextrin (figur 17), vilket bestryks som en lack på den förorenade träkonstruktionen. Cyklodextrin-molekylerna har förmåga att ta upp och binda föroreningar såsom pentaklorfenol. Molekylerna är ringformade glukosmolekyler som enzymatiskt fås från stärkelse. När man stryker på cyklodextrin, omsluter dess ringstrukturer pentaklorfenol i ett hålrum och föroreningen kapslas in. (Coxworth, 2024; Fraunhofer Institute for Building Physics IBP, 2024). Forskarna har utvecklat ett gel av cyklodextrin och gelen appliceras på förorenade konstruktioner. Gelen är färglös, syns inte och förstör inte konstruktionen. Den är också giftfri, orsakar inte mögeltillväxt och det går att tvätta den bestrukna ytan. (Fraunhofer Institute for Building Physics IBP, 2024).



Figur 17: Cyklodextrin-gel stryks på träskyddsbehandlat virke och gelen absorberar föroreningar såsom pentaklorfenol (Fraunhofer Institute for Building Physics IBP, 2024).

Gelen tränger in i porerna hos träet och där suger den upp föroreningarna. Ifall koncentrationen av föroreningar är mycket hög, kan gelen inte absorbera alla. (Coxworth, 2024; Fraunhofer Institute for Building Physics IBP, 2024). En del föroreningar släpps då ut i luften och för dem använder man plasmateknologin. I taket fästs en plasmaapparat, vilken suger upp föroreningarna. (Fraunhofer Institute for Building Physics IBP, 2024). I byggnaden finns elektroder som skapar en plasmagas och de förorenade luftflödena i huset leds genom denna gas. Gasen bryter ned pentaklorfenoler kemiskt. I apparaten finns även aktiva kolfilter som motverkar att de nedbrutna gasformiga produkterna tar sig ut från apparaten igen. (Coxworth, 2024; Fraunhofer Institute for Building Physics IBP, 2024).

Man har genomfört laborietester för att kontrollera metoden och resultatet har varit lyckat. Föroreningar bröts ner fullständigt. För tillfället görs också praktiska tester på en historisk byggnad, där resultatet hittills har medfört minskning av föroreningskoncentrationen med två tredjedelar. Med det absorberande materialet samt plasmateknologin, kunde det vara möjligt att även restaurera möbler av trä eller sanera exempelvis betong. (Fraunhofer Institute for Building Physics IBP, 2024).

Frågor som för tillfället undersöks av forskarna är hur länge lacken förblir som ett stabilt lager, vad som händer om man bestryker ett tjockare lager av lacken och om föroreningar kan ledas ut från konstruktionen på lång sikt. Man testar också en metod som handlar om att kompresser dränkt med cyklodextrin viras runt träkonstruktioner och därefter tas bort. (Fraunhofer Institute for Building Physics IBP, 2024).

8.2.10 Sanering i en byggnads klimatskal

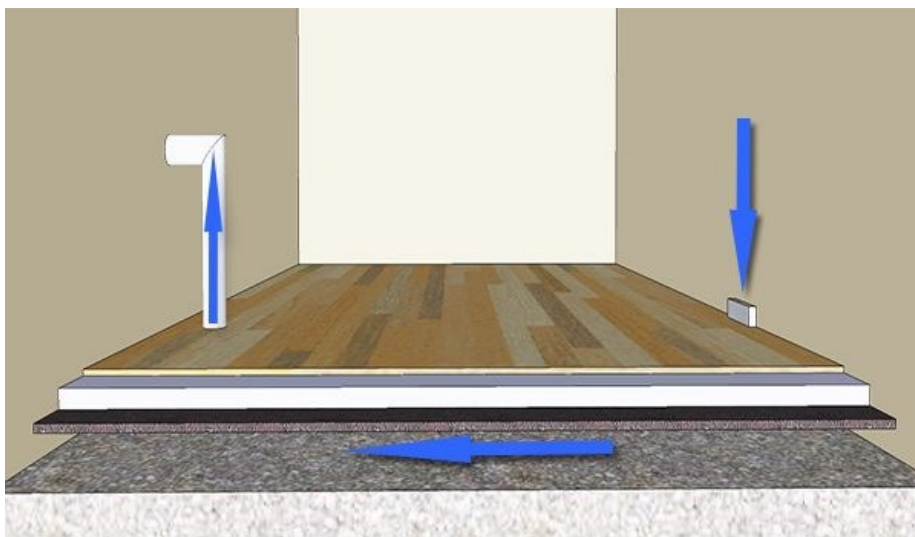
En byggnads klimatskal utgörs av golvbjälklag, vindsbjälklag och väggar. Det är svårt att utföra luktsanering hos dessa. Det är lämpligast att byta ut allt luktsmittat material, exempelvis isolering. En annan lösning är ozonerad luft som blåses in i husets klimatskal via ett särskilt aggregat, eftersom ozonet inte kan ta sig igenom de hårda byggnadsmaterialen själv. (Andersson, 2023a).

Krypgrund, torpargrund och källare räknas som riskkonstruktioner eftersom de vanligtvis är skadade av mikrober och fukt (Andersson, 2023a). Till följd av mikrober och fukt uppstår lukter från byggnadsmaterialen och från luktande ämnen från mikroberna, så kallade

MVOC som produceras av bakterier och svampar (Lorentzen m.fl. 2015; Andersson, 2023a). Luktskadan sprids sedan till hela grunden. I luktsmittade grunder kan de toxiska ämnena gå vidare till grundmurar, bjälklag och isolering ovanför. (Andersson, 2023a).

I krypgrunder ska alla hål för ventilation och luftpassager sättas igen och även inspektionssluckan ska tätas. Det görs för att konstruktionen ska bli lufttät. Efter att man tätat krypgrunden installeras en krypgrundsavfuktare med undertrycksfläkt. Undertrycksfläktens fungerar så att luftflödet som förut vandrat uppåt i huset, vänds till att gå neråt i stället och med hjälp av fläkten leds det ut från krypgrunden. Avfuktarens uppgift är att se till att fuktnivån i krypgrunden inte blir för hög. Ifall fuktnivån är hög, kan skadorna bli värre. Därför är en avfuktare i kombination med en undertrycksfläkt ett bra val, eftersom det utan avfuktare blir för fuktigt i krypgrunden under vissa perioder. (Andersson, 2022a).

Jämfört med krypgrund är platta på mark svårare att luktkontrollera (Andersson, 2022a). En markliggande platta, bestående av armerad betong, medför svårigheter också vid luktsanering (Andersson, 2023a). I svåra fall måste hela golvbjälklaget rivas upp och i stället monterar man ett ventilerat golv som en metod av luktkontroll. Det ventilerade golvet fungerar på liknande sätt som undertrycksfläkten. (Andersson, 2022a). Ett ventilerat golv har en luftspalt mot plattan, där en undertrycksfläkt finns som drar med sig luft från byggnaden till utomhusluften (figur 18) (Andersson, 2023a). Andra alternativ för att kontrollera lukten är att montera cTrap eller ett tätt spärrskikt av aluminiumfolie över plattan (Ljungby Fuktkontroll & Sanering AB, 2013a; Andersson, 2023a). Då kan lukt och fukt inte ta sig vidare upp från plattan (Andersson, 2023a). Man måste se till att huset är lufttätt både uppåt mot boendeytorna och utåt från grunden, så att lukten inte först går ut och sedan in igen med ventilationen (Ljungby Fuktkontroll & Sanering AB, 2013a).



Figur 18: Hur förorenad luft leds ut till utomhusluften via ett ventilerat golv. En fläkt drar ner luften under golvet, var det finns en luftspalt där luft kan cirkulera, och sedan leds luften ut från byggnaden. (Andersson, 2023b).

Fuktskador i källarväggar kan tyda på att dränering behövs. Det är även bra att byta ut skadat material, såsom isolering, regler och skivor mot väggens insida. I svåra fall kan man installera en ventilerad spalt emot väggarna. Detta kallas för ventilerade väggar. I vissa fall kan det även krävas ventilerat golv, beroende på placering av luktkälla och luktsmitta. I lindrigare fall med små fuktskador kan fotokatalytisk luftrenare och avfuktare vara tillräckligt. (Andersson, 2023a).

Det finns också risk för att marken omkring huset har tagit upp kemikalierna. Därför rekommenderas undertrycksfläkt och avfuktare i krypgrund efter att exempelvis golvsbjälklaget har bytts ut. (Andersson, 2022a).

Otäck lukt tar sig vanligen från grund upp till bostaden, men i vissa fall sprids lukt från kallvind ner till våningen under. På kallvindar följer man samma koncept som i krypgrunder (Andersson, 2022a). Först kontrollerar man ventilationen och undertryck bör undvikas eftersom lukter från kallvind dras neråt då (Andersson, 2023a). Hål för ventilation sätts igen och vindsluckan samt vindsbjälklaget ska tätas samt isoleras (Andersson, 2022a). Sedan monteras en vindsavfuktare, ifall fukten är hög vintertid. I händelse av att ingen av dessa åtgärder medför resultat, kan man montera en undertrycksfläkt. Fläkten styr frånluften så att den leds ut från huset via gavelventiler eller ventilationsrör genom yttertaket. (Andersson, 2023a). Med fördel leds luften ut i norra noken, eftersom det då finns mindre risk att den transporteras in igen med tilluften (Andersson, 2022a).

9 RESULTAT

I detta kapitel besvaras forskningsfrågorna som ställdes i det inledande kapitlet. Frågorna besvaras med löpande text och tabeller.

1. Vilka reparationsmetoder finns för fukt- och mikrobskadade byggnader?

Det finns flera olika metoder för att reparera fukt- och mikrobskadade byggnader och i detta examensarbete har fokus legat på torkning, slipning, byte av skadat material, inkapsling och justering av tryckförhållanden.

Torkning av fuktigt material förhindrar att skadan breder ut sig och används när byggnadsmaterialet i fråga inte går att avlägsna, skadan är lokal eller den har inte orsakat mikrotillväxt ännu. Ett krav för lyckat resultat är att byggnadsmaterialet bör vara oskadat. Några nackdelar med metoden är att eventuell mikrobskadan inte försvinner, utan kan till och med spridas vid mekanisk torkning.

Slipning kan användas för mindre skador i byggnadens bärande konstruktion. Då slipar eller fräser man så djupt i materialet att skadorna fås bort. För att säkerställa att skadorna har avlägsnats, görs mikrobiologisk analys. Inget skadat eller fuktigt material får lämnas kvar. Ifall byggnadsmaterial börjar ha nått sin livslängd eller vid mycket omfattande skador, används i stället byte av skadat material. Vid förnyande av konstruktion är det mycket viktigt att beakta helheten gällande brandkrav, ljudisolering, stabilitet, anslutningar och fastighetstekniska system.

Vid inkapsling isoleras det skadade materialet i byggnaden från inneluften för att minska spridning av skadliga ämnen. Metoden används speciellt för PAH- samt VOC-föreningar och lämpar sig då skadan är svår att avlägsna samt de förorsakade hälsoproblemen är betydliga. De skadliga ämnena kan inte nå inomhusluften på grund av att materialet är lufttätt. Som inkapslingsmaterial fungerar såväl ångspärrar som beläggningar. Inkapslingens negativa effekter kan vara försämrade torkning av konstruktionen, ökat luftläckage vid annan byggnadsdel samt oklar livslängd.

Justering av tryckförhållanden samt ventilation är väsentligt vid alla typer av reparationer. Då ska man till exempel beakta ventilationens mängd, renhet, rutter, luftströmmar och

luftläckage. Inneluftens kvalitet beror ofta till stor del på ventilationen. Idag planerar man byggnader till att varken ha övertryck eller undertryck, men dessa kan användas som metoder vid sanering. Undertrycksreglering kan användas i de utrymmen var föroreningskällan finns, eftersom luften då leds mot föroreningskällan. För undertrycksreglering krävs ett omfattande kanalsystem, en frånluftsblåsare samt lufttäta anslutningar. Övertrycksreglering medför en högre fuktbelastning och lämpar sig ifall andra åtgärder har misslyckats samt byggnadens kvarvarande livslängd är kort. Övertrycksreglering används för oskadade rum och luften leds därifrån mot de rum som har lägre tryck.

2. Vilka material och metoder lämpar sig för luktsanering och luktkontroll av klorfenoler och kloranisoler?

Det är mycket besvärligt att hantera lukt som orsakas av klorfenolbehandlat virke i byggnader. Lukten smittas lätt till andra byggnadsmaterial och det är svårt att vid sanering uppnå ett hus utan lukt. Lösningen på klorfenol- och kloranisolproblemen är inte en särskild lösning som passar för alla byggnader, utan i stället måste man använda sig av flera åtgärder samtidigt för att problemen helt och även på lång sikt ska försvinna. Saneringsmetoderna kan antingen handla om luktsanering eller luktkontroll. Luktsanering innebär att man avlägsnar själva luktkällan och luktkontroll betyder att luktkällan blir kvar, men luktspridningen minskas. I en byggnads klimatskal ser saneringsförfarandena ut enligt tabell 2 nedan.

Tabell 2: Saneringsförfaranden i en byggnads klimatskal.

Krypgrund	<ul style="list-style-type: none"> - Luftpassager sätts igen - Inspektionsluckan tätas - Installation av krypgrundavfuktare samt undertrycksfläkt
Platta på mark	<ul style="list-style-type: none"> - Ventilerat golv med undertrycksfläkt - Alternativt montering av spärrskikt eller cTrap
Källarväggar	<ul style="list-style-type: none"> - Utbyte av skadat material - I lindrigare fall installeras fotokatalytisk luftrenare samt avfuktare - I svårare fall installeras ventilerade väggar
Kallvind	<ul style="list-style-type: none"> - Kontroll av ventilation - Hål för ventilation sätts igen - Tätning av vindsbjälklaget och vindsluckan - Montering av vindsavfuktare - I svårare fall installeras också undertrycksfläkt

Med litteraturstudier och personlig kommunikation med kunniga inom området har det framkommit olika material och metoder som används vid sanering av klorfenoler och kloranisoler. Dessa material och metoder behandlas i en tabell i bilaga 1, där de är kort beskrivna.

3. Vilka för- och nackdelar finns det med de olika reparationsmetoderna för klorfenoler och kloranisoler?

Med de olika metoderna samt materialen för sanering av kloranisoler och klorfenoler finns det både fördelar och nackdelar. Forskningsfråga nummer tre behandlas i samma tabell i bilaga 1 som forskningsfråga nummer två.

10 DISKUSSION

Det är viktigt att föra fram klorfenoler samt kloranisoler som möjliga faktorer för obehaglig lukt inomhus, eftersom allmänheten inte känner till dem särskilt väl. Jag var inte heller bekant med dessa kemiska ämnen innan skrivandet av detta examensarbete och därför har det varit mycket intressant och givande. Examensarbetet har gett mig mycket kunskap och förståelse för problematiken med klorfenoler samt kloranisoler. När examensarbetet inleddes, upplevdes antalet goda källor vara få. När jag letat djupare och intervjuat kunniga personer inom området, hittades många informativa källor. Examensarbetets perspektiv har varit relativt brett och innehållet är mångsidigt. Under arbetets gång har jag kunnat konstatera att det finns blandade åsikter om bland annat hälsoeffekter och lämpliga saneringsmetoder. För att delge rätt information, har många olika källor beaktats.

Det anses vara svårt att sanera kloranisoler, men inte omöjligt. Litteraturstudierna samt intervjuerna resulterade i en översikt över möjliga saneringsmetoder och -material, vilket var målsättningen. Metoderna för sanering har hittats mycket flera än förväntat. Det som jag skulle göra annorlunda under examensarbetsprocessen är att satsa ännu mer på intervjuer, eftersom en betydande del information har fåtts därifrån. Det skulle också ha varit bra att få besöka något företag eller delta i en sanering för att få en bättre praktisk förståelse för de olika metoderna. Det är aningen svårt att förstå den praktiska delen, när examensarbetet enbart har varit teoretiskt.

För vidare studier kunde man undersöka vilka saneringsmetoder som används i andra länder än Sverige, Finland och Tyskland. USA kunde till exempel undersökas. Man skulle även kunna följa upp de tyska metoderna och ytterligare fördjupa sig i dem samt utreda ifall liknande metoder kunde användas i Finland. Ett alternativ för vidare undersökningar skulle också kunna vara polyamidbaserade smarta ångbromsar, eftersom dessa har använts för sanering i väldigt liten grad och potentialen är relativt okänd. Det skulle även vara intressant att använda olika saneringsmetoder på ett saneringsobjekt och jämföra resultaten som de ger, eftersom metodernas duglighet i förhållande till varandra inte har beaktats i detta examensarbete.

Som alternativ till analyser av kloranisoler med gaskromatografi, kunde man testa analyser med infrarödspektroskopi i stället. Gaskromatografi är komplicerat, tidsdrygt och dyrt. Infrarödspektroskopi är en mindre noggrann metod, men resultatet fås snabbt och kan tas

på andra platser än i laboratorium. Eftersom Yrkeshögskolan Novia i Vasa just har köpt in ett bärbart instrument för analys med FTIR-spektroskopi, skulle detta vara ett bra ämne för ett kommande examensarbete eller för vidare studier. Med instrumentet kunde man snabbt och enkelt identifiera klorfenoler i olika byggnadsmaterial och på så sätt få reda på källor till kloranisollukt inomhus.

11 KÄLLFÖRTECKNING

- Agilent. (u.å.a). *What Is FTIR Spectroscopy?* Hämtat från Agilent:
<https://www.agilent.com/en/support/molecular-spectroscopy/ftir-spectroscopy/ftir-spectroscopy-basics-faqs>
- Agilent. (u.å.b). *4300 Handheld FTIR Spectrometer*. Hämtat från Agilent:
<https://www.agilent.com/en/product/molecular-spectroscopy/ftir-spectroscopy/ftir-compact-portable-systems/4300-handheld-ftir>
- Allergi- och Astmaförbundet rf, Andningsförbundet rf. (2013). Guide om inneluft.
- Andersson, J. (den 16 januari 2022a). *Klorfenol som pentaklorfenol leder till lukt av kloranisol*. Hämtat från Optihus ABs hemsida:
<https://www.optihus.se/klorfenol-kloranisol>
- Andersson, J. (den 24 januari 2022b). *Avfuktare och avfuktning*. Hämtat från Optihus AB: <https://www.optihus.se/avfuktare>
- Andersson, J. (den 11 maj 2023a). *Luktsanering och Luktkontroll för hus och fastighet*. Hämtat från Optihus AB:s hemsida: <https://www.optihus.se/luktsanering-luktkontroll>
- Andersson, J. (den 2 juni 2023b). *Vad är ett ventilerat golv och varför används det?* Hämtat från Optihus AB: <https://www.optihus.se/ventilerat-golv>
- Blomqvist, E., & Jermer, J. (2008). *Betydelse av pentaklorfenolbehandlat trä för spridning av dioxiner i miljön*. Borås: SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut.
- Bloom, E., Bok, G., & Theorin, M. (2023). *Sanering av mikrobiella skador på trä i byggnader - en sammanställning av nuläget i branschen, lagar, metoder och användningsområden*. Borås: RISE AB. Hämtat från <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1733251/FULLTEXT03.pdf>
- Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie. (u.å.). *Entwicklung eines Sanierungsverfahrens für geruchsbelastete ältere Holzhäuser durch bauphysikalische und chemisch-physikalische Maßnahmen*. Braunschweig: Internationalen Verein für Technische Holzfragen. Hämtat från <https://ivth.org/content/download/aif/14179N.pdf>
- Coxworth, B. (den 3 januari 2024). *CycloPlasma tech traps toxic chemicals used in historic wooden buildings*. Hämtat från New Atlas:
<https://newatlas.com/science/cycloplasma-wood-preservatives-historic-buildings/>
- cTrap AB. (u.å.). *cTrap säkerställer en ren och frisk inomhusluft*. Hämtat från cTrap AB:s hemsida: <https://ctrapp.se/>
- Ekberg, O. (2021). *Literature review of fungi in buildings and their ability to methylate chlorophenols into maldorous chloroanisoles*. Hämtat från IOP Science:
<https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/2069/1/012207/pdf>
- Envall, M. (2017). *Inomhusluftproblem orsakade av kloranisoler. Examensarbete för ingenjörsexamen (YH). Teknik och Sjöfart*. Vasa: Yrkeshögskolan Novia.

- Forsgren, C. (u.å.). *Ämnens fysikaliska och kemiska egenskaper*. Hämtat från <https://rib.msb.se/Filer/pdf%5C17436.pdf>
- Fraunhofer Institute for Building Physics IBP. (den 2 januari 2024). *Remediation of contaminated wooden structures*. Hämtat från Fraunhofer Institute for Building Physics IBP: <https://www.fraunhofer.de/en/press/research-news/2024/january-2024/remediation-of-contaminated-wooden-structures.html>
- Gunschera, J. (2005). *Muffiger Geruch in Holzhäusern*. Braunschweig: Fraunhofer-Institut für Holzforschung.
- Gunschera, J., Fuhrmann, F., Salthammer, T., Schulze, A., & Uhde, E. (maj 2004). *Formation and emission of chloroanisoles as indoor pollutants*. Hämtat från Springer Link: <https://link.springer.com/article/10.1007/BF02979668>
- Gunschera, J., Fuhrmann, F., Salthammer, T., Schulze, A., Uhde, E., & Uhde, M. (2005). *Chloroanisoles as indoor pollutants originating from PCP-metabolism*. Braunschweig: Indoor Air.
- IdeaStructura Oy. (u.å.). *IdeaStructura Oy*. Hämtat från IdeaStructura: <https://www.ideastructura.com/>
- Isover Saint-Gobain. (den 11 mars 2022). *Hur fungerar egentligen den variabla ångbromsen Isover Vario Xtra?* Hämtat från Isover Saint-Gobain: <https://www.isover.se/supporten-tipsar/hur-fungerar-variabla-angbromsen-isover-varior-xtra>
- Isover Saint-Gobain. (u.å.). *ISOVER Vario Xtra*. Hämtat från Isover Saint-Gobain: <https://www.isover.fi/tuotteet/isover-varior-xtra#tuotekuvaus>
- Korkalainen, M., & Rantakokko, P. (den 23 november 2022). Lausunto kloorianisoliin terveyshaitoista asunnon sisäilmassa. Helsingfors, Finland.
- LABROC. (u.å.). *Kemialliset analyysit, kloorianisoliin*. Hämtat från LABROC: <https://labroc.fi/kemialliset-analyysit-kloorianisoliin/>
- Larsson, L., Lehtimaa, T., & Mattsson, J. (2021). *Curing building related illnesses by using an emissions barrier*. Hämtat från IOP Science: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/2069/1/012241/pdf>
- Ljungby Fuktkontroll & Sanering AB. (den 23 april 2013a). *Pentaklorfenol träskyddsbehandling få bort lukt i hus*. Hämtat från LFS - Ljungby Fuktkontroll & Sanering AB: <https://www.lfs-web.se/pentaklorfenol.htm>
- Ljungby Fuktkontroll & Sanering AB. (den 23 maj 2013b). *Ventilation i hus - övetryck eller undertryck vilket är bäst*. Hämtat från LFS - Ljungby Fuktkontroll & Sanering AB: <https://www.lfs-web.se/ventilation-overtryck-undertryck.htm>
- Ljungby Fuktkontroll & Sanering AB. (den 11 maj 2015). *Kloranisoler är vanlig källa till lukt i hus*. Hämtat från LFS - Ljungby Fuktkontroll & Sanering AB: <https://www.lfs-web.se/kloranisoler.htm>

- Ljungby Fuktkontroll & Sanering AB. (den 6 2 2020). *LFS - Ljungby Fuktkontroll & Sanering AB*. Hämtat från Ventilation av kryppgrund med fläkt och avfuktare: <https://www.lfs-web.se/ventilation-kryppgrund.htm>
- Lorentzen, J. (februari 2013). Förekomst och effekter av kloranisoler från träskyddsmedel. *Bygg & teknik*, ss. 47-48.
- Lorentzen, J. C., Johanson, G., Juran, S. A., Nilsson, M., & Nordin, S. (den 10 april 2015). *Chloroanisoles may explain mold odor and represent a major indoor environment problem in Sweden*. Hämtat från Wiley Online Library: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/ina.12207>
- Lorentzen, J., Ekberg, O., Alm, M., Björk, F., Harderup, L.-E., & Johanson, G. (den 16 februari 2024). *Mold Odor from Wood Treated with Chlorophenols despite Mold Growth That Can Only Be Seen Using a Microscope*. Hämtat från MDPI: <https://www.mdpi.com/2076-2607/12/2/395>
- Lorentzen, J., Harderup, L.-E., & Johanson, G. (den 28 augusti 2023). *Evidence of Unrecognized Indoor Exposure to Toxic Chlorophenols and Odorous Chloroanisoles in Denmark, Finland, and Norway*. Hämtat från Hindawi: <https://www.hindawi.com/journals/ina/2023/2585089/>
- Lorentzen, J., Juran, S., & Johansson, G. (den 11 januari 2016). Mögellukt för miljoner – en förbisedd historia om klorfenoler i svenska hus. *Husbyggaren*.
- Lorentzen, J., Juran, S., Ernstgård, L., Olsson, M., & Johanson, G. (den 3 februari 2020). *Chloroanisoles and Chlorophenols Explain Mold Odor but Their Impact on the Swedish Population Is Attributed to Dampness and Mold*. Hämtat från MDPI: <https://www.mdpi.com/1660-4601/17/3/930>
- Maraun, W., & Pfeil, S. (den 6 april 2020). *Fertighausgeruch durch Chloranisole und andere Schadstoffe*. Hämtat från ARGUK-Umweltlabor GmbH: <https://www.arguk.de/forschung/Fertighausgeruch-durch-Chloranisole-und-andere-Schadstoffe.html>
- Maraun, W., Pfeil, S., & Unger, P. (september 2015). *Fertighausgeruch durch Chloranisole in der Raumluft älterer Fertighäuser: Ableitung eines Zielwertes für die Geruchsbeurteilung*. Hämtat från Arbeitsgemeinschaft ökologischer Forschungsinstitute e.V. (AGÖF): <https://www.agoef.de/schadstoffe/chemische-schadstoffe/chloranisole.html#c329>
- Marutzky, R., Gunschera, J.-F., & Uhde, E. (2008). *Tyskland Patentnr DE 103 10 455 B4*.
- Mäkelä, J. (2021). *Kloorianisolit - vanhan talon haju*. Ympäristö ja Terveys-lehti.
- Naturvårdsverket. (2005). *Förorenade byggnader*. Stockholm: Naturvårdsverket.
- Nguyen, H., Lagarde, F., Louarn, G., & Daniel, P. (den 15 februari 2017). A new way to discriminate polluted wood by vibrational spectroscopies. *Talanta*, ss. 436–441.
- ok Bauservice. (u.å.a). *ok Bauservice stellt sich vor*. Hämtat från ok Bauservice - Der Fertighaus Renovierer: <https://ok-bauservice.de/ueber-uns/das-unternehmen/>

- ok Bauservice. (u.å.b). *Wenn Schadstoffe und Gerüche die Sanierung eines Fertighauses erfordern*. Hämtat från ok Bauservice - Der Fertighaus Renovierer: <https://ok-bauservice.de/wenn-schadstoffe-und-gerueche-die-sanierung-eines-fertighauses-erfordern/>
- Palm, A., Sternbeck, J., Remberger, M., Kaj, L., & Brorström-Lundén, E. (2002). *Screening av pentaklorfenol (PCP) i miljön*. Stockholm: IVL Svenska Miljöinstitutet AB.
- Pitkäranta, M. (2016). *Rakennuksen kosteus- ja sisäilmatekninen kuntotutkimus, 75–76*. Helsinki: Ympäristöministeriö.
- Pro Clima. (u.å.). *Intello*. Hämtat från Pro Clima: https://www.proclima.com/products/internal-sealing/intello/how-it-works#sub_navigation
- Renopan - Fertighaus-Sanierung. (u.å.a). *Renopan - Wir über uns / unsere Philosophie*. Hämtat från Renopan - Fertighaus-Sanierung: <https://renopan-fertighaussanierung.de/fertighaus-fassaden.html>
- Renopan - Fertighaus-Sanierung. (u.å.b). *Fertighaussanierung: Muffiger Geruch im Haus? So werden Sie Ihn los!* Hämtat från Renopan - Fertighaus-Sanierung: <https://renopan-fertighaussanierung.de/geruchssanierungen-fertighaus.html>
- Renopan-Fertighaus-Sanierung. (maj 2009). *Renopan ToxStop*. Hämtat från Renopan-Fertighaus-Sanierung: https://renopan-fertighaussanierung.de/files/pdf/Sonstiges/01_PDB_ToxStop.pdf
- Renopan-Fertighaus-Sanierung. (2018). *Renopan AirClear Absorbin*. Hämtat från Renopan-Fertighaus-Sanierung: https://renopan-fertighaussanierung.de/files/pdf/Sonstiges/PDB_AirClear_Absorbin_K_230210_ke.pdf
- Renopan-Fertighaus-Sanierung. (u.å.c). *Sanierungsprodukte von renopan: Unser Materialverkauf*. Hämtat från Renopan-Fertighaus-Sanierung: <https://renopan-fertighaussanierung.de/sanierungsprodukte-von-renopan.html>
- Samuelson, I., Arfvidsson, J., & Hagentoft, C.-E. (2007). *Få bukt med fukt*. Stockholm: Forskningsrådet Formas.
- Schnelle-Kreis, J., Scherb, H., Gebefügi, I., Kettrup, A., & Weigelt, E. (den 10 juli 2000). *Pentachlorophenol in indoor environments. Correlation of PCP concentrations in air and settled dust from floors*. Hämtat från ScienceDirect: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969700004769>
- Sisäilmayhdistys ry. (2019). *Sisäilmastoseminaari 2019. Sisäilmastoseminaari 2019 (s. 407)*. SIY Sisäilmatieto Oy.
- Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry. (2020). *RIL 250-2020 Kosteudenhallinta ja homevaurioiden estäminen*. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.
- Sveriges vattenmiljö. (u.å.). *Dioxiner*. Hämtat från Sveriges vattenmiljö: <https://www.sverigesvattenmiljo.se/undersoka-vattenmiljo/dioxiner>

- Weijo, I., Lahdensivu, J., Turunen, T., Ahola, S., Sistonen, E., Vornanen-Winqvist, C., & Annala, P. (augusti 2019). *Reparation av fukt- och mikroskadade byggnader*. Hämtat från Miljöministeriet: https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/162010/2019_21.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Yadav, S., Kumar, S., & Haritash, A. (den 15 september 2023). *A comprehensive review of chlorophenols: Fate, toxicology and its treatment*. Hämtat från ScienceDirect: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0301479723010423>
- Zimmerer-Profibau Fertighaussanierung. (u.å.a). *Fassadensanierung Fertighaus*. Hämtat från Zimmerer-Profibau Fertighaussanierung: <https://profibau-fertighaussanierung.de/fassadensanierung-fertighaus.html>
- Zimmerer-Profibau Fertighaussanierung. (u.å.b). *Schadstoffsanierung Fertighaus*. Hämtat från Zimmerer-Profibau Fertighaussanierung: <https://www.profibau-fertighaussanierung.de/schadstoffsanierung.html>

Saneringsmetoder för klorfenoler och kloranisoler

Saneringsmetoder för klorfenoler och kloranisoler. Beskrivning av möjliga metoder och material samt deras för- och nackdelar.

Metoder	Beskrivning	Fördelar	Nackdelar
Byte av skadat material	Utbyte av allt klorfenolbehandlat samt luktsmittat material	<ul style="list-style-type: none"> - Avlägsnande av luktkällan - Sägs vara den säkraste metoden 	<ul style="list-style-type: none"> - Tidskrävande - Stora kostnader - Tillfällig flytt för de boende - Mikrober och toxikologiska ämnen kan frigöras vid rivning
Slipning	Slipning av klorfenolbehandlade träytor	<ul style="list-style-type: none"> - Klorfenolhalten är högst vid ytan och några centimeter inåt, så den avlägsnas 	<ul style="list-style-type: none"> - Lukten försvinner sällan helt - Tidskrävande - Opraktiskt och svårt att komma åt alla ytor
Avfuktare	Kontrollerande och rening av luften samtidigt som fuktnivån hålls låg	<ul style="list-style-type: none"> - Stabilare klimat - Torrare byggnadsmaterial - Mikrotillväxt och fuktvandring minskar 	<ul style="list-style-type: none"> - Fungerar bäst om lukt upplevs endast under vissa tider och väder
Avfuktare samt undertrycksfläkt	Kontrollerande och rening av luften med låg fuktnivå samt fläkt som leder ut luften	<ul style="list-style-type: none"> - Används vid mer besvärliga lukter - Luften har svårare att ta sig till inomhusluften 	<ul style="list-style-type: none"> - Tätning krävs - Isolering kan krävas
Fotokatalytisk luftrenare	Nedbrytning av klorfenoler och kloranisoler med hjälp av oxidativa substanser	<ul style="list-style-type: none"> - Bra metod för sanering av ytor - Spridningen av giftiga kemikalier minskar 	<ul style="list-style-type: none"> - Fungerar inte för djupt sittande klorfenoler och kloranisoler

<p>Uppvärmning, kondensavfuktare och fotokatalytisk luftrenare</p>	<p>Uppvärmning av bostaden eller separata rum till cirka 35 grader, värmen och avfuktaren leder fukt samt lukt ur byggnadsmaterial och de skadliga ämnena bryts ner i den fotokatalytiska luftrenaren</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Fukt samt luft leds ur byggnadsmaterialen - Nedbrytning av de skadliga ämnena 	<ul style="list-style-type: none"> - Ifall träskyddsbehandlat virke förekommer i ytterväggarna, kan denna metod dra in ännu mera kloranisoler genom innerväggen
<p>Ventilation</p>	<p>Reglering och kontroll av tryckförhållanden, luftströmmar och luftläckage</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Hög ventilation minskar halten av luftföroreningar 	<ul style="list-style-type: none"> - Felaktig eller för lite ventilation kan leda till att föroreningar dras in - Spridning sker fortfarande - Lukten uteblir sällan helt
<p>Tätning av luftläckage</p>	<p>Tätning av luftläckage vid springor och genomföringar</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Lukter stoppas från att ta sig in via otätheter 	<ul style="list-style-type: none"> - Svårt i praktiken - Vid användning av fel tätningsmassa kan flera inomhusproblem uppstå - Konstruktionens uttorkningsförmåga kan minska
<p>Spärrfärg</p>	<p>Tät färg för inspärning av föroreningar</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Kloranisoler spärras in bakom färgen 	<ul style="list-style-type: none"> - Kloranisoler försvinner inte vid målning - Minskar begränsat på utsläppen, som fortfarande kan ske genom sprickor - Rötskador kan uppstå om fukt inte kan ta sig ut ur virket - Ohälsosamma kemiska ämnen kan avges från färgen

Spärrskikt	En tät laminerad folie som monteras på materialet som avger kloranisollukt	<ul style="list-style-type: none"> - Spärrar in föroreningar - Fungerar så länge spärrskiktet är helt 	<ul style="list-style-type: none"> - Risk för hög fuktbelastning i materialet som det spärrar in
Smarta ångbromsar av polyamid	Folie av polyamid som är lufttät, men fuktgenomsläpplig	<ul style="list-style-type: none"> - Hanterar fukt på ett bra sätt och tillåter konstruktionerna att torka - Bra mot fukt- och mögelskador - Kan användas på golv, tak och väggar 	<ul style="list-style-type: none"> - Forskning ogjord - Mycket lite använt för att stoppa kloranisollukt, så erfarenhet saknas
cTrap	Matta av aktivt kol som släpper igenom vattenånga, men inte luft	<ul style="list-style-type: none"> - Binder och förhindrar ytutsläpp - Konstruktionerna renas - Har eliminerat inomhusluftspöroblem helt eller delvist - Kan monteras på alla typer av underlag - Miljövänlig och effektiv 	<ul style="list-style-type: none"> - Oklar livslängd, även om erfarenheten hittills är god
Aktivt kol	Tillsättning av aktivt kol till de byggnadsdelar som blivit kvar i ytterväggens fack	<ul style="list-style-type: none"> - Minskar eller förhindrar lukt och föroreningar i inomhusluften genom att binda de toxikologiska ämnena 	<ul style="list-style-type: none"> - Lukten minskas, men försvinner eventuellt inte

<p>Utvändig sanering av ytterväggar</p>	<p>Öppnande av ytterväggar, avlägsnande av skadade material, målning av den klorfenolbehandlade konstruktionen med dispersionsfärgen ToxStop, montering av tyget renopan AirClear och utvändig isolering samt rappning.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Färgen omsluter stommen som ett skyddsskikt - Tyget stoppar eventuella kloanisoler som finns kvar - Utvändig isolering förhindrar fukt från att bilda mera kloranisoler - Ytterväggen är genomsläpplig för ånga, konstruktionen kan torka ut 	<ul style="list-style-type: none"> - Föroreningar blir kvar i den klorfenolbehandlade konstruktionen - Färgen passar inte för målat trä
<p>Invändig sanering av ytterväggar</p>	<p>Invändig panel, isolering och förorenade spånskivor tas bort. Konstruktionen behandlas med en produkt som förstör föroreningarna.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Passar för ytterväggar som är svåråtkomliga utifrån - Passar också när endast enskilda rum har en obehaglig lukt 	<ul style="list-style-type: none"> - Fungerar som stödande åtgärd till utvändig renovering, alltså beskrivs utvändig renovering som den primära metoden
<p>Cyklodextrin-gel samt plasmateknologi</p>	<p>En absorberande lack, cyklodextrin-gel, bestryks på träkonstruktionen för att avlägsna föroreningar. Samtidigt används plasmateknologi för att rena den förorenade luften.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Cyklodextrin-gelet tar upp och binder föroreningar - Färglös och giftfri gel - Eventuella föroreningar som inte tas upp av gelen, suggs upp av plasmaapparaten - Hållbart och miljövänligt - Inga hälsorisker 	<ul style="list-style-type: none"> - Nytt sätt - Osäkerhet kring lackens hållbarhet och eventuella föroreningar på lång sikt