

Ammoniak i betong

Ett nytt fuktproblem?

Andreas Dagerholm, Jonas Magnusson,
[100601]



Sammanfattning

I dagens betong kan ammoniak förekomma i sådana koncentrationer att missfärgning av ekparkettgolv uppkommer. Problemet med ammoniak i golvkonstruktioner är inget nytt problem eller för den delen unikt för Sverige. Under åren 1977-1983 användes kaseinhaltigt flytspackel i stor utsträckning. Spacklet ledde till missfärgningar av ek och korkgolv. Okunskapen under denna tid resulterade i stora skador och andra olägenheter vilket ledde till kostsamma saneringar och utredningar.

Även i Danmark har missfärgningar av ekparkettgolv dokumenterats på senare tid. Källan till problemet i Danmark har konstaterats vara flygaska från koleldade värmekraftsverk som innehåller ammoniak. Denna ammoniak frigörs sedan i betongen till följd av alkalisk fukt. På grund av de kostnader som detta medför för drabbade entreprenörer har NCC Danmark slutat att lägga ekparkettgolv på betongbjälklag vilket kommer att fortsätta till dess att problemet kan avhjälpas.

När problemet uppmärksammas görs detta oftast av de boende själva. Inomhusmiljöproblem likt sjukahus-symptom ligger ofta till grunden för utredning vartefter ammoniak påträffas i betongen. Studier rörande inomhusmiljön med hänsyn till ammoniakemissioner har utförts i länder som Kina, Japan och Finland.

Vad som orsakar ammoniakförekomsten i vår svenska betong i dag vet man dock inte. Ammoniak kan i höga koncentrationer eller långvarig exponering vara farlig eller mycket farlig för människor. I rumsluft detekteras dock inte några halter av ammoniak och således är det inte en trolig orsak till sjukahus-symptomen.

Problemet bör ändå tas på allvar då koncentrationerna riskerar att höjas om inte källan identifieras. Detta på grund av att eventuellt mer och mer kväve och amininnehållande kemikalier och material som orsakar problemen tillsätts i betongen.

Syftet med arbetet har varit att sammanställa AK Konsults egna skadeutredningar kring den aktuella problematiken samt att samla den information från av andra tidigare utförda studier och efterforskningar inom aktuella områden.

Utöver detta har vi utfört fuktberäkningar med hjälp av beräkningsprogrammen TorkaS 3.0 och KFX. Anledningen till detta var att undersöka fuktens omfördelning vid golvläggning av PE-folie och parkett på ett fuktigt betongbjälklag. Beräkningarna simulerades över en tidsperiod på 200 dygn. Resultaten visar att vid golvläggning enligt HUS AMA (95 % RF på ekvivalent mätdjup) leder till en uppfuktning av betongplattans ytligare delar till omkring 85-90 % från att ha varit 40-50 %.

Det här materialet som vi har tagit fram har avslutats i diskussion där vi sammanställt våra egna slutsatser till de olika avsnitten i rapporten. Våra antaganden visar på att ammoniakemissionerna är starkt beroende av fuktförhållanden i betongen. När vi har 85-90 RF på ekvivalent mätdjup klingar emissionerna vid ytan relativt snabbt. När RF ligger under 85 % påvisas inte längre någon ökning av ammoniakkoncentrationerna vid betongytan. Med detta menar vi att ammoniakerna bildas i betongen och fortsätter att göra så i de djupare fuktigare delarna under en längre tid. När betongen sedan torkar ut transporteras ammoniakerna i jonfas i materialets kapillärporer. Det förloppet kan kanske

sågas klinga av relativt snabbt men när sedan golvet läggs uppfuktas som tidigare nämnt betongen vilket återupptar denna kapillärtransport. När sedan fukten hindras att torka ut kan det nya förloppet pågå en längre tid vilket deponerar höga halter av ammoniak under stegljudsdämpare/PE-folie. Om detta tätskikt inte är helt tätt kan ekparkettgolv komma att missfärgas.

Abstract

In today's concrete, ammonia is sometimes detected in such concentrations that the misscolouring of oak floor constructions follows. The problem with ammonia in floor constructions is not a new problem or for that part unique for Sweden. During the years 1977-1983 a self-leveling floor compound containing casein proteins was often used in Sweden. The self-leveling floor compound led to the misscolouring of oak and cork floors. The lack of knowledge resulted in damages and inconveniences on a grand scale resulting in expensive decontaminations and investigations.

In Denmark the misscolouring of oak also has been documented. The source to Denmark's problems was established to fly ashes from coal powered energy plants which contains ammonia. The ammonia is later on released in the concrete because of high relative humidity and the occurrence of alkali.

Because of the costs this generates for the building companies NCC Denmark has stopped putting any more oak floors on concrete foundations until the problem can be put right.

It is often the property owners them self who first notice the problems. Sick building syndrome SBS is often the sources of the investigations. Later on the ammonia occurrence in the concrete is found. Studies concerning sick building syndromes due to ammonia emissions have been performed in countries such as China, Japan and Finland.

It is not known what currently causes the ammonia occurrence in Swedish concrete.

Ammonia can in high concentrations or by long term exposure be very dangerous to humans. The ammonia is however, not detected in the indoor air and cannot for that matter be blamed for the health problems reported.

The problem should be taken seriously because of the risk of enhancing the ammonia content in the concrete. This considers adding more and more amine and nitrogen compounds to the concrete.

The purpose of this report was to gather the material of AK Konsult's own damage investigations about the current problem and to compile other information from earlier studies and inquiries within the current issue.

In addition to the compilation, humidity calculations with the calculations programs TorkaS 3.0 and KFX has been performed. The purpose of this was to investigate the moistures movements in the concrete after a PE-foil and parquet has been applied. The calculations were simulated over a 200 days and nights period. The results showed that floors being set by Swedish standards (95 % RH on a equivalent depth) led to a moisture increase of the concretes dryer surface from around 40-50 % RH to 85-90 % RH.

This compiled material finalizes with a discussion where we have putted together our own conclusions from the different chapters of the report. Our conclusions show that the ammonia emissions are strongly dependent to the moisture contents within the concrete. When RH levels of 85-90 % is reached on a equivalent depth the emissions decrease relatively fast. When the RH levels are below 85 % the ammonia emissions are no longer increasing at the surface.

Our conclusion of this is that ammonia is created in the concrete and continues to do so in the deeper humid parts for a longer period of time. The ammonia is then transported in the form of ammonium within the materials capillaries during the drying phase of the concrete. This course of event maybe short lived but when the PE-foil and parquet is set the moisture increases in the dryer surface parts as earlier mentioned witch restarts the capillary transportation of ammonium. The moisture is also prevented to dry out witch leads to increased ammonia levels under the PE-foil/sound insulating coat. If these materials are not completely vapor tight the misscolouring of oak parquet may follow.

Förord

Följande examensarbete är en kandidatuppsats i Byggteknik och design à 15 hp som avslutar våra studier vid KTH Syd Campus Haninge. Uppsatsen har utförts i samarbete med fukt och skadeutredningsföretaget AK Konsult Indoor Air AB. Under arbetets gång har vi haft en del hjälp från ett flertal personer. Vi vill tacka våra handledare Ingrid Johansson, Peter Carlsson från AK Konsult samt Folke Björk Byggvetenskap KTH för den hjälp vi fått med själva rapporten samt till bakgrunder och information rörande skadeutredningarna vi sammanställt.

Vi vill även tacka Göran Stridh, pensionerad kemist vid Yrkes o. Miljömedicinska kliniken i Örebro för den hjälp vi fått angående kemi och hälsoaspekter samt Anders Kumlin VD AK Konsult Indoor Air AB för den vägledning vi fått.

Kurs: HS101X	Institution	KTH Syd Campus Haninge	
Titel	Ammoniak i betong, ett nytt fuktproblem?		
Författare	Andreas Dagerholm	adag@kth.se	
	Jonas Magnusson	jonmagn@kth.se	
Handledare	Ingrid Johansson	ingrid.johansson@akkonsult.com	AK Konsult
	Peter Carlsson	peter.carlsson@akkonsult.com	AK Konsult
	Folke Björk	Folke.bjork@byv.kth.se	KTH
Examinator	Per-Magnus R Roald	per.roald@byv.kth.se	KTH

Innehållsförteckning

1. Inledning	1
1.1 Bakgrund	1
1.2 Målformulering	1
1.3 Avgränsningar	1
1.4 Problembeskrivning	1
1.5 Möjliga lösningsmetoder	2
1.5.1 Valda lösningsmetoder	2
1.6 Förväntade resultat	2
2 Hur förekommer ammoniak i betong?	3
2.1 Ammoniak NH_3	3
2.1.1 Ammonium	4
2.1.2 Ammoniumföreningar	4
2.2 Aminer	5
2.2.1 Alifatiska aminer	5
2.2.2 Aromatiska aminer	5
2.3 Missfärgning av ekparkett till följd av ammoniak och aminer	6
3 Orsaker till att det finns kväveföreningar i betong	8
3.1 Cementproduktion	8
3.1.1 Klinker	10
3.1.2 Kalksten	11
3.1.3 Masugnslagg	11
3.1.4 Gips	11
3.1.5 Malhjälpmedel	13
3.1.6 Flygaska	15
3.2 Betongtillverkning	16
3.2.1 Flygaska i betong	16

3.2.2 Ballast och sprängämnesrester	17
3.2.3 Tillsatsmedel i betong	18
3.2.4 Formolja	18
4. Provtagningsmetoder för att mäta emissioner och fukt i luft och betong	19
4.1 Ammoniak och amin-mätningar	19
4.1.1 Provtagning med reagensrör typ Dräger.....	19
4.1.1 Provtagning med direktvisande gasmonitor typ Brüel & Kjaer 1302.....	19
4.2 VOC och TVOC-mätningar	20
4.2.1 Volitale organic compounds VOC.....	20
4.2.2 Provtagning med FLEC-metoden	21
4.3 Fuktmätningssmetoder	21
4.3.1 Ekvivalent mätdjup.....	21
4.3.2 Humi-Guard	22
4.3.3 Uttaget RF prov	22
4.3.4 Borrhållsmätning	23
5 Tidigare forskning	24
5.1 Problemen i Danmark.....	24
5.2 Tina Hjelström, Chemical emissions from concrete.....	24
5.3 Experimentiella delar	25
5.4 Möjliga Skadeorsaker	26
6 Utredningar	28
6.1 Studium av mellanbjälklag	29
6.1.1 Skador.....	29
6.1.2 Besiktning	30
6.1.3 Emissioner	30
6.1.4 Jämviktkoncentration, deponerade VOC i betongen	31
6.1.5 Jämviktskoncentration ammoniak	31

7 Studium av platta på mark	36
7.1 Avjämnade betonggolv.....	36
7.1.1 Skador.....	36
7.1.2 Besiktning	37
7.1.3 VOC och TVOC	37
7.1.4 Jämviktskoncentration av ammoniak.....	38
7.2 Ingen avjämning	41
7.2.1 Skador.....	41
7.2.2 Besiktning	41
7.2.3 VOC och TVOC	42
7.2.4 Ammoniak/amin - mätningar	44
8 Mätningar i laboratorium	46
8.1 Bakgrund	46
8.1.1 Fördjupade undersökningar	48
8.1.2 Genomförande	48
8.1.3 Mätresultat.....	49
9 Beräkningar	51
9.1 Introduktion.....	51
9.2 Beräkningar	52
9.2.1 Betong	52
9.2.2 Resultat.....	52
10 Diskussion	56
10.2 Cementproduktionen	56
10.3 Betongtillverkning	57
10.4 Utredningar	57
10.5 Undersökning i laboratorium	59
10.7 Kvalitetssäkring.....	63

10.8 Slutsats	64
Referenslista	65
BILAGOR	70

1. Inledning

1.1 Bakgrund

Under de senaste åren har ett relativt nytt problem uppkommit i mer eller mindre nyproducerade byggnader. Flera av de största svenska byggföretagen har anlitat AK Konsult Indoor Air AB till skadeutredningar där det rapporteras om missfärgningar på ekparkett, avvikande lukt samt ohälsa hos brukarna främst i form av slemhinnebesvär i ögon, näsa och hals. AK Konsult konstaterar i sina utredningar att avvikande lukt förekommer som kan liknas med fuktig betong, flytspackel eller fiskliknande lukt samt vid okulär besiktning att missfärgningar beträffas i de flesta fall då ekparkett utgör golvbeläggningen.

Skadorna på golv samt symptomen hos brukarna påminner om de problem som byggbranschen tampades med mellan åren 1977-1983. Då rapporterades olägenheter i form av missfärgningar, blåsbildningar i golv och elak lukt samt olika symptom hos människor som vistats i miljön. Källan till problemet var under den tiden användning av flytspackel för avjämning av betongbjälklag (Ericsson och Hellström, 1984). Flytspacklen som användes innehöll proteiner. Dessa proteiner bröts ner i fuktiga miljöer till ammoniak som fastställdes som källan till problemen.

I vissa objekt som AK Konsult har utrett har avjämning av betongbjälklag förekommit. Men eftersom avjämning inte har använts i de flesta fallen kan det inte sägas vara orsaken till de höga halterna av ammoniak. Det finns idag ingen klar bild över de direkta skadeorsakerna.

1.2 Målformulering

Uppgiften med detta examensarbete är att sammanställa resultaten från ett antal skadeutredningar utförda av AK Konsult Indoor Air AB. De eventuella kvävekällor som nämnts i tidigare forskning kommer att studeras närmare för att se om någon av dessa kan uteslutas eller om någon ytterligare bör tilläggas.

Målet med arbetet är att göra denna information tillgängliga för andra samt att bidra till en diskussion om det aktuella problemet så att detta kan leda till en eventuell framtida lösning. Utifrån resultatet av arbetet vill vi kunna ge förslag till framtida studier kring problemet samt ge förslag på vad man kan göra för att avhjälpa missfärgningar av ekparkettgolv.

1.3 Avgränsningar

Arbetet begränsas till att undersöka de tekniska problemen i golvkonstruktioner som påverkar ammoniakemissioner samt andra flyktiga organiska ämnen. Följderna som dessa ämnen ger i form av sjukbesvär kommer enbart att belysas. Vad som orsakar besvären samt varför det påverkar människorna som vistas i dessa miljöer kommer inte att tas med i denna rapport. Ut över detta kommer kemitekniska frågor behandlas på en grundläggande nivå.

1.4 Problembeskrivning

Det finns idag lite information om orsaker som ligger till grund för de avvikande lukterna och upptäckta halterna ammoniak. Det går inte att dra några direkta slutsatser att de avvikande lukter av kemisk karaktär och ammoniak under golvbeläggningen som konstaterats i de utredda objekten kan härledas till varandra. Även de inomhusproblem som rapporterats av de boende i dessa objekt kan

inte heller de härledas till något specifikt ämne. Kunskapen finns inte idag om vilket eller vilka ämnen som orsakar att folk mår dåligt i dessa miljöer.

Troligtvis är ammoniaken i betongen och de rapporterade hälsobesvärerna orsakade av någon fuktrelaterad reaktion i materialet. Fukt misstänks ofta vara en faktor vid rapporterade fall med besvär med inomhusmiljön (Bornehag, 1994). När man talar om fuktiga byggnader är det främst två tekniska orsaker som kan påverka inomhusmiljön. Dels kan fukt ge upphov till mikrobiell tillväxt som behöver fukt för att leva. Dessa kan emittera ämnen och sporer som påverkar inomhusluften. Dessa ämnen kan göra att vissa personer känner hälsobesvär om de vistas i dessa miljöer. Den andra orsaken till försämrad inomhusmiljö till följd av fuktpåverkan är nedbrytning av olika material. Detta händer oftast i samband med känsliga organiska material och närvaro av fuktig betong. Känsliga organiska material kan vara plast, golvlim och andra naturmaterialbaserade produkter (Sjöberg, 2001).

Av tidigare erfarenheter vet man idag att ammoniak kan bildas i alkaliska miljöer. Tidigare studier har visat att kvävehaltiga ämnen (kasein, melamin, m.m.) bryts ner och tillsammans med alkalisk fukt reagerar och bildar ammoniak (Bornehag, 1994).

1.5 Möjliga lösningsmetoder

För att uppnå målet med examensarbetet finns flera möjliga lösningsmetoder. De lösningsmetoder som finns att tillgå är följande:

- Litteraturstudier
- Interjuver
- Beräkningar
- Provgjutningar

1.5.1 Valda lösningsmetoder

Arbetet kommer delvis att bedrivas som en litteraturstudie då det tillhandahållna materialet kommer att undersökas. Interjuver kommer att hållas bland annat med sakkunniga kemister, byggtreprenörer samt betong- och cementleverantörer. Beräkningar i arbetet kommer att utföras med hjälp av beräkningsprogrammen TorkaS samt KFX. Programmen kommer att användas för att undersöka fuktens inverkan på emissionerna. Provgjutningar kommer inte att väljas som lösningsmetod för arbetet. Att undersöka problemet med flera fullskaliga provkroppar skulle vara en tidskrävande undersökning. Detta ryms därför inte inom tidsramen för examensarbetet.

1.6 Förväntade resultat

Förhoppningen med arbetet är att få en ökad förståelse kring problemet med ammoniakemissioner från betong. Vi hoppas även med arbetet kunna finna och/eller utesluta eventuella riskfaktorer i betongframställning och golvläggning

2 Hur förekommer ammoniak i betong?

Följande avsnitt presenterar olika former av ammoniak som kan förekomma vid emissionsmätningar. Detta gäller främst ammoniak, ammonium och aminer.

2.1 Ammoniak NH_3

Ammoniak är en kemisk förening mellan väte och kväve med den kemiska beteckningen NH_3 . Vid normal rumstemperatur är ammoniak en färglös gas med en stickande lukt. I dagsläget saknas det gränsvärden för ammoniak i boendemiljöer

För snabbverkande samt farliga ämnen tillämpas takgränsvärden (TGV). Detta gäller för ämnen som under en kortvarig exponering kan ge skadliga effekter. Mätperioden för exponering av sådana ämnen är normalt 15min med undantag för bland annat ammoniak. TGV för ammoniak är 35mg/m³ eller 50ppm. Detta värde gäller en femminutersperiod i arbetsmiljöer (arbetsmiljöverket).

För boendemiljö saknas i dag TGV för ammoniak. På grund av avsaknaden av gränsvärden för ammoniak i boendemiljö tillämpas av försiktighetsprincip 1/50 eller en 1/100 av det värde som gäller för arbetsmiljö enligt (Bødker, 2006). Nivågränsvärde (NGV) omfattar exponering under en arbetsdag. NGV för ammoniak är i dag 18mg/m³ eller 25ppm (arbetsmiljöverket). Att tillämpa försiktighetsprincipen för NGV i arbetsmiljö skulle medföra ett gränsvärde mellan 0,25-0,50ppm.

I så pass låga halter sägs ammoniak inte ha någon skadlig verkan på människor. Vid långtidsexponering av lägre halter kan eventuellt effekten på människors hälsa påverkas. Enligt (Liesivuori, 2005) tål människan halter 9.2ppm±1.4ppm. Detta visades genom en studie där 58 stycken fabriksarbetare exponerades av halter omkring 10ppm under en 15års period utan att uppvisa några symptom på luftvägar eller hud i form av eksem.

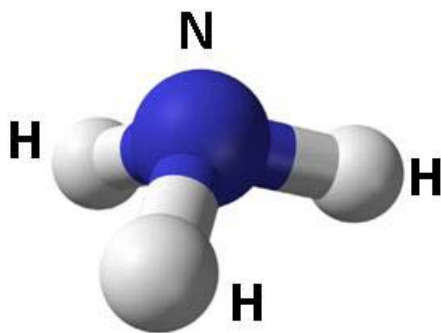


Bild 2.1-1. Illustration av en ammoniak moleky.

2.1.1 Ammonium

När ammoniak löses i vatten bildas ammonium. Ammoniakmolekylen binder där med till sig en extra väteatom till kväveatomen och bildar en katjon dvs. en positivt laddad jon av ammoniak på formeln NH_4^+ . Ammonium räknas inom kemin som en svag syra och är likt ammoniak starkt toxisk.

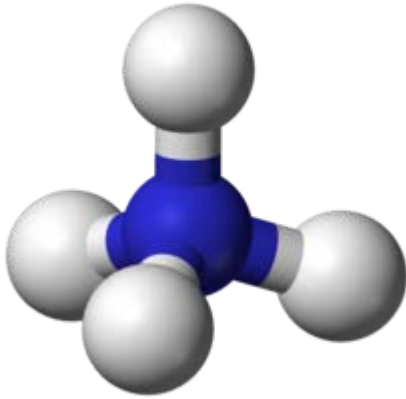


Bild 2.1-2. Illustration av ammonium

2.1.2 Ammoniumföreningar

Kvartära ammoniumföreningar kallas kväveföreningar där en kväveatom binder fyra andra typer av atomer. När kväveatomen binder dessa fyra övriga atomer så blir denna molekyl positivt laddad (katjonisk). Strukturen hos dessa molekyler är NR_4^+ . Bokstaven R motsvarar i molekylen en alkylgrupp. Alkylgruppen är uppbyggd av kol- och väteatomer dvs. kolväten.

I låga halter anses inte ammoniumföreningar vara skadliga. På grund av detta uppges inte alltid förekomsten av dessa i kemiska produkter (Kemiinspektionen).

2.2 Aminer

Ammoniak består av tre stycken väteatomer samt en kväveatom. När man talar om aminer syftar man på organiska föreningar härledda ur ammoniak. Dessa föreningar är således ammoniakderviat där en, två eller tre av väteatomerna i ammoniak är ersatta med kolvätegrupper. Aminer är en stor grupp av ämnen där vissa har rikt- och gränsvärden som är relativt låga. Detta på grund av att det flesta aminer är irriterande och har i många fall även en stark lukt.

2.2.1 Alifatiska aminer

Beroende på antalet utbytta väteatomer hos de alifatiska aminerna räknas de som primär, sekundär eller tertiära aminer. Föreningarna bildas genom att den eller de utbytta väteatomerna binds med en kolvätegrupp (alkylgrupp). Likt ammoniak är alifatiska aminer mycket lösliga i vatten och har en mycket distinkt doft. Denna doft brukar beskrivas som en ruten lukt.

2.2.2 Aromatiska aminer

De aromatiska aminer eller arylamin kännetecknas med att en eller flera av kolvätegrupperna är utbytta mot ett aromatiskt kolväte. Aromatiska kolväten består av en väteatom förenad med en ringformad kolförening. Aminer av detta slag är mycket giftiga.

I aktuella skadeutredningar har aminer identifierats. Mätningarna av aminer är dock inte kvantitativa utan syftar till att påvisa eventuell förekomst av amin i betongen samt i inomhusluften.

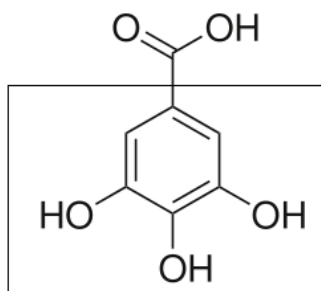
2.3 Missfärgning av ekparkett till följd av ammoniak och aminer

Ek innehåller stor mängd med garvämnerna, även vid namn tanniner eller polyfenoler. Anledningen till att ek mörkfärgas är att garvämnerna i ek bildar färgade föreningar. De föreningar som bildar dessa färgade föreningar har en mycket komplex struktur och sammansättning. Dessa sammansättningar kallas polymer som är föreningar som består av långa kedjor uppbyggda av mindre upprepande framställningar av kemiska föreningar.

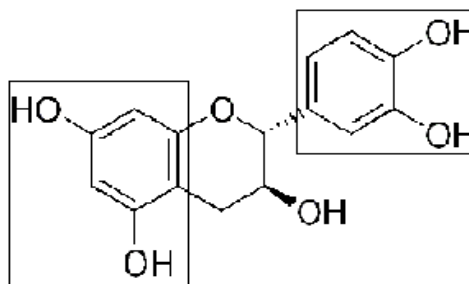


Bild 2.1-3. Missfärgad ekparkett

Garvämnerna är indelade i två grupper, indelningen av dessa är baserad på erfarenheter. De två grupperna består av hydrolyserbara och kondenserbara tanniner. Förenklat kan dessa kännetecknas av två stycken huvudföreningar, gallussyra figur. 2.3-1 i hydrolyserbara och catechin figur. 2.3-2 i kondenserade tanniner.



Fiurg. 2.3-1 Gallussyra

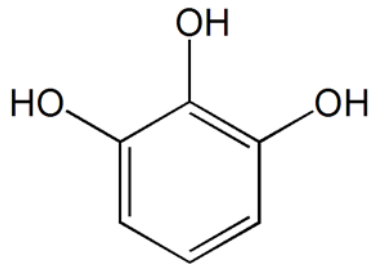


Figur. 2.3-2 Catechin

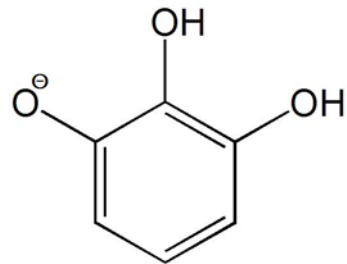
Färgerna uppkommer då garvsyrornas huvudföreningar oxideras och polymeriseras. Då bildas genom olika kedjereaktioner mörkfärgade polymer.

Närvaro av ammoniak och aminer ökar hastigheten på mörkfärgningen. Detta beror på att dessa ämnen har förmågan att bilda anjoner (figur 2.3-4) till huvudföreningarna (figur. 2.3-3). Det är sannolikt att även små mängder av ammoniak/aminer bidrar till mörkfärgningen. Den halt som kan missfärga ek anses vara 5mg/m³ luft. Ammoniakens förmåga att svärta ek är känd sedan länge och används inom möbelindustrin då mörk ek önskas.

(Ericsson och Hellström, 1984)



Figur 2.3-3. Pyrogallo



Figur. 2.3-4. Anjon till pyragallol

3 Orsaker till att det finns kväveföreningar i betong

I detta avsnitt kommer ett antal möjliga orsaker till att det finns kväveföreningar i cement och betong att beskrivas. Dessa kvävekällor kan föranleda problemen med ammoniak eller aminer.

3.1 Cementproduktion

Cementfabriken i Slite Gotland är en av norra Europas största cementfabriker. Fabriken ägs av Cementa, Sveriges enda cementtillverkare som i sin tur ägs av den internationella koncernen Heidelbergcement. Här tillverkas varje år mer än 2 miljoner ton cement som används i betongen i Sverige. Punkterna 1 till 16 beskriver processen för cementproduktion i Cementas fabrik i Slite Gotland.

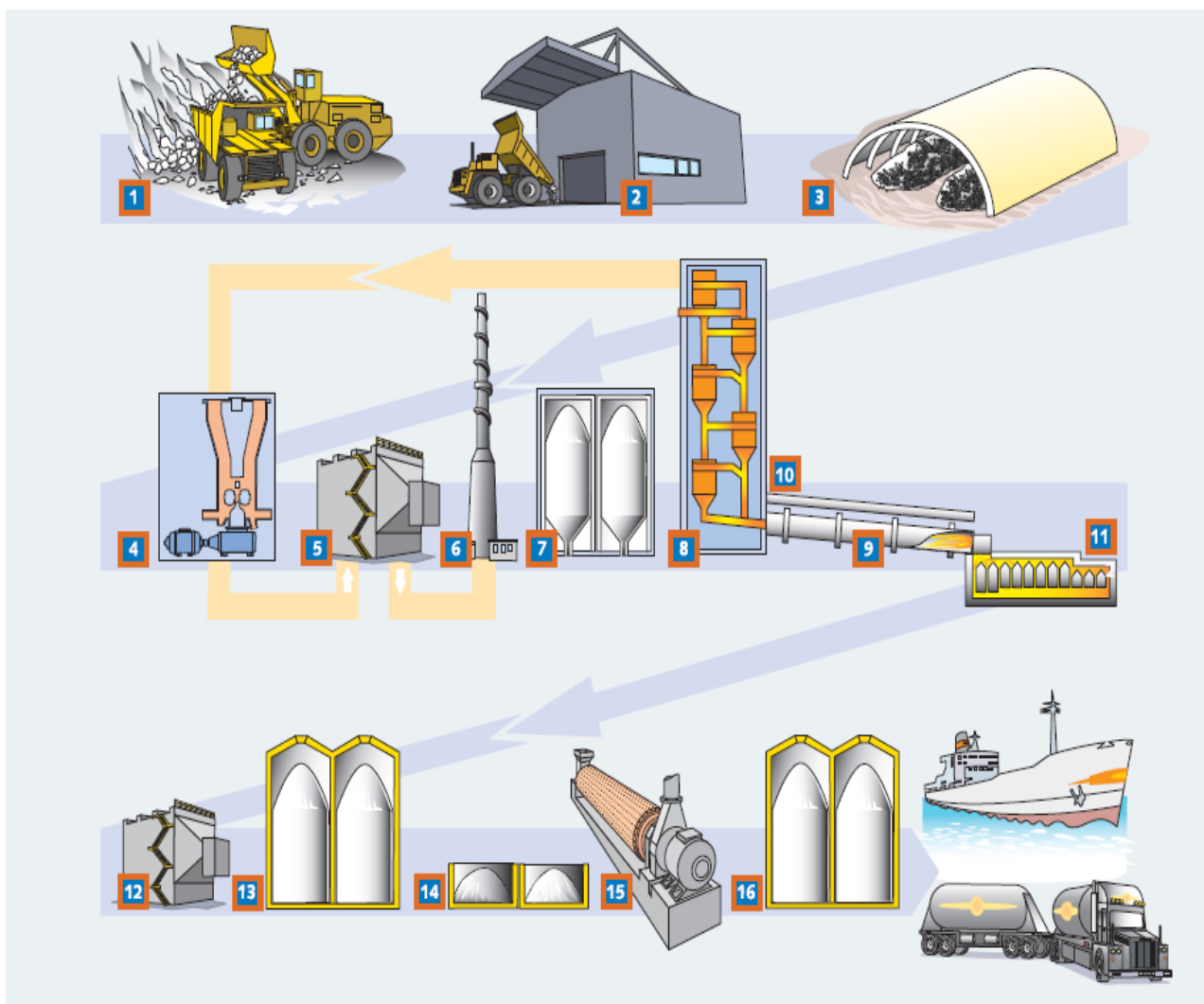


Bild 3.1-1. Flödesschema över Slites cementproduktion.

1. Brytning av kalksten genom sprängning i kalkstenstakten
2. Krossning.
3. Utjämningslager. Används som buffert till råkvarnarna samt blandningsstation.
4. Råkvarn. Malning av kalkstenen till ett fint mjöl. Tillsättning av kisel. Materialet torkas av varma gaser från den kommande ugnprocessen. Det färdiga mjölet transporteras med ugnsgaserna genom ett elektrofilter som avskiljer gaserna från materialet.
5. Ett högeffektivt elektrofilter avskiljer stoftpartiklar i rökgaser från råkvarnen.
6. Svavelrensningsanläggning där man tvättar rökgaserna med mald kalksten och vatten i en så kallad våtskrubber. Restprodukt i denna process är gips som återanvänds i cementet.
7. Råmjölssilor som fungerar som mellanlager för den malda kalkstenen.
8. Cyklontorn med förkalcinering av råmjölet vilket innebär att kalciumkarbonat delas upp i koldioxid samt kalciummonoxid.
9. Cementugn. Råmjölet bränns i ett roterande stålrör. Processen omvandlar råmjölet till klinker.
10. Eftercyclontornet passerar materialet ett by-passfilter där alkali kondenseras.
11. Klinkern kyls ner med luft i klinkerkylare.
12. Elektrofilter som renar gaser från klinkerkylaren.
13. Lagring av klinkern i klinkersilos.
14. Lagring av gips från svavelreningsanläggningen samt tillsatser.
15. Klinker, gips och eventuell kalksten mals i en cementkvarn till färdig cement
16. Lagring av cementet i slutna cementsilos.

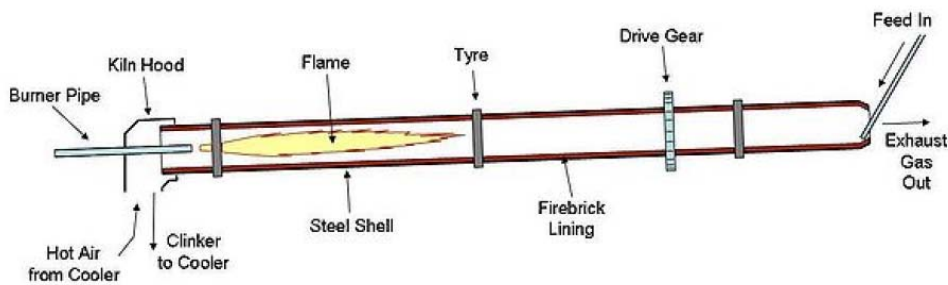


Bild 3.1-2: Cementugn (9).

3.1.1 Klinker

I cementugnen(9) bränns som ovan nämnts kalkstensmjölet till klinker. Temperaturen i ugnen uppgår till 1450°C. Kväveinnehållande ämnen tillhör den organiska kemin. Normalt leder temperaturer i intervallet 450-600°C till termisk sönderdelning av sådana ämnen. Med bakgrund till detta är det därför inte troligt att eventuella kväverester i klinker från sprängämnesrester i kalkstensmjölet överlever denna process utan de ventileras bort i form av NO_x-gaser. Dock som visas i tabell 3.1-1 så finns det mätbart kväve i klinkern efter förbränningsprocessen. En del av kvävet blir kvar i råmaterialet. Detta bör inte ses som ett problem även fast att kvävebidraget från detta material är förhållandevis stort.

Råmaterial	Kväve (mg/kg) Råmaterial	Kväve (mg/kg) Cement
Klinker	40	33
Kalksten	110	11
Masugnsagg	190	3,8
Gips (Naturlig)	<40	1,9
Järnsulfat	<40	0,24

Tabell 3.1-1. Kväveinnehåll i råmaterial samt i förhållande till 50kg cement (Hjellström, 2004)

Eventuellt kan kväveinnehållet i NO_x-gaserna ha påverkats av användandet av en del alternativa bränslen. Cementa uppger att man i dag använder bland annat biologiskt avfall samt benmjöl för att ersätta fossila bränslen i förbränningsprocessen. Således kan kväveinnehållet i rökgaserna som produceras i ugnen ha ökat. Att detta i sin tur skulle ha ökat innehållet av kväve i klinkern är dock inte troligt eftersom den största delen av NO_x-gaserna som tidigare nämnts leds bort från ugnen. Kvävet i klinkern som blir kvar efter ugnprocessen är antagligen inte förbränt utan inkapslat i materialets porer. Klinkerprodukten kan därför enligt vår mening ses som "mättade" på kväve. Vi vet inte i vilka kemiska som detta kväve är bundet men tror inte kväveinnehållet skiljer sig nämnvärt från tidigare år i cementindustrin.

3.1.2 Kalksten

Kalksten har även nämnts som en eventuell orsak till kväve i cement som kan bilda ammoniak. Detta beror på att kalksten innehåller organiska samt sprängämnesrester från brytningen. Som nämnts tidigare så klarar inte kväve i olika delämnena av de höga temperaturerna i cementugnen. Men eftersom kalksten som tillsätts i cementkvarnen för malmning till den slutliga cementen undgår denna förbränningsprocess är det troligt att kväverester tillförs i detta steg. I tabell 3.1-1 ser man att kalkstenen innehåller förhållandevis mycket kväve 110mg/kg. Vilket vidare betyder ca 11mg/kg kväve i cementen. Bidraget från kalkstenen är således runt en $\frac{1}{3}$ av det som tillförs från klinkern (33mg/kg) baserat på Tina Hjellströms mätningar "Chemical emissions from concrete".

3.1.3 Masugnslagg

Masugnslagg är en obrännbar restprodukt som framställs vid tillverkning av råjärn. Slaggen består av olika sammansmälta bergarter som tillsammans med järn tappas ur masugnen. Därefter snabbkyls (granuleras) slaggen i vatten. Detta leder till att slaggen får en glasartad amorf struktur som liknar klinker.

Cementa nyttjar denna produkt i sin cementtillverkning för att spara energi och sänka fabriken koldioxidutsläpp, samt för att spara på naturmaterial. Anledningen till detta är att slaggen ersätter en viss del av gips, kalksten och natursand i cementproduktionen. Detta har lett till att behovet av kalksten i cementtillverkningen har minskat med 50-100000ton/år (naturvårdsverket).

Kväveinnehållet i masugnsslaggen är 190mg/kg som visas i tabell 3.1-1. Bidraget som slaggen genererar till cementen är dock bara 3,8mg/kg. Siffran är dock från Hjellströms avhandling "Chemical emissions from concrete" och är från 2004. Hur kvävefördelningen mellan materialen ser ut i dag vet vi inte. Det kan dock tänkas att slaggen bidrar med betydligt mer än 3.8mg/kg cement nu för tiden.

3.1.4 Gips

Under malningen av cementklinker tillsätts en del material bland annat gips. I tabell 3.1-1 ovan redovisas att naturligt gips innehåller en liten mängd kväve. På senare år har Cementa dock gått i från att använda naturligt gips som tillsatsmaterial i cementen.

I Cementas hållbarhetsredovisning från 2007 nämner man att systemet för rökgasrening som används vid fabriken i Slite är av typ SNCR (Selective Non Catalytic Reduction) system. I denna reningsprocess adderas ammoniak till rökgaserna från cementugnen för att reducera kväveoxiderna i denna. Nackdel med SNCR-system är att ammoniakuttnyttjandet är relativt dåligt då det krävs hela fem stycken ammoniakmolekyler för att reducera en NO_x-molekyl (Vattenfall, 2006). När NO_x-molekylerna reagerar med ammoniaken bildas kväve och vatten. Vidare så renas gaserna via ett elektrofilter samt en svavelreningsanläggning. I första steget i denna anläggning passerar rökgaserna en förskrubber där reststoffet tvättas bort som inte fålls ut av elektrofiltret. När gaserna sedan går till avsvavling i en absorber är det nästan helt befriade från tungmetaller samt stoft. I absorbern passerar gaserna en slurry av finmald kalksten. I denna slutliga process(6) i reningsförfarandet bildas gips som restprodukt. Gipset kallas för REA-gips som sedan återanvänds i cementproduktionen. Årligen används 250 000 ton REA-gips i produktionen enligt cementas tillståndsprovning hos miljööch hälsoskyddsnämnden på Gotland. Detta innebär att 10 % av klinkern innehåller gipset. Gipset tillsätts tillsammans med klinker samt kalksten i cementkvarnen och mals här till färdig cement.

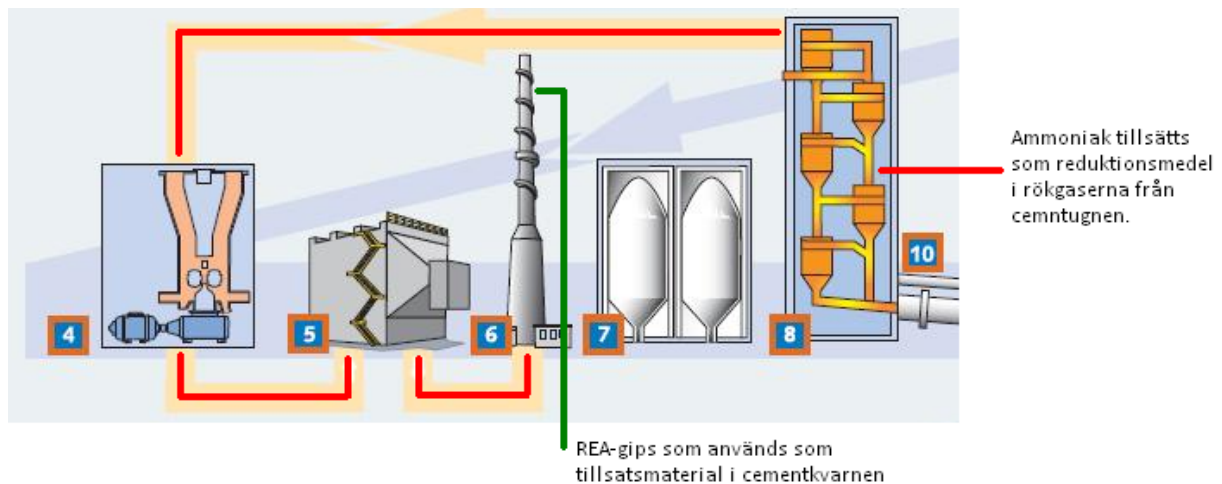


Bild 3.1-3. Rökgasrenings process, Slitefabriken

En del av ammoniaken i ett SNCR-system kan undgå att reagera med NO_x-gaserna under vissa driftförhållanden. Detta kallas för ammoniak-slip och är något man får räkna med i SNCR-system. Ammoniak-slipen färdas genom rökgasreningsprocessen vilket kan resultera i att en del av denna ammoniak hamnar i REA-gipset. Rökgasens gång genom systemet samt ammoniaktransporten via denna illustreras i Bild. 3.1-3 ovan. Slites ammoniak-slip ligger mellan 5-20mg/m³ eller 6-26ppm (Department of Environmental Protection Florida).

Om en del av ammoniaken inte reagerar med NO_x-gaserna i rökgasen kan denna eventuellt hamna i gipset vilket i sin tur leder till ammoniakförekomst i cement och betong. Detta med hänsyn till framställningen av flygaska som kan ge förhöjda ammoniakhalter i betong (Bødker, 2006).

Även kväveinnehållet i kalkstenen involveras i denna process. Kvävehalter större än de som Hjelström mätt upp i gipset kan därför tänkas vara rimliga.

3.1.5 Malhjälpmedel

Malhjälpmedel används inom cementindustrin under malningen av klinker, gips och eventuell kalksten. Anledningen till detta är att motverka klumpbildning vid lagring då cementkornen hålls separerade under malningsprocessen i kvarnen. Utöver detta så leder användandet av malhjälpmedel till en effektivare samt energisnålare malning.

Det är sedan tidigare känt att aminbaserade malhjälpmedel leder till förhöjda ammoniakemissioner från cement och betong. Tina Hjellström behandlar i sin avhandling "Chemical emissions from concrete" cement malda med olika malhjälpmedel samt utförde mätningar av ammoniakemissioner från dessa. Förutsättningarna för cementen var desamma. Cementen maldes av klinker, gips, kalksten, slagg och järnsulfat. Utöver detta så innehåller den malda cementen olika malhjälpmedel.

Provkropp	Tillförd mängd malhjälpmedel	Uppmätt kväveinnehåll i cement
	(mg/kg)	(mg/m ³)
A	177	12
B	176	7,8
C	176	5,3
D	175	31
E	177	0,5
F	0	2,4

Tabell 3.1-2 Tillförda mängder av malhjälpmedel (mg/kg) samt uppmätt mängd kväve i cement (mg/m³) (Hjellström, 2004)

Provkropp	Tillfördmängd NH ₃ via malhjälpmedel	NH ₃ -emission cement	NH ₃ -emission cementbruk	Malhjälpmedel
	(g)	(mg/m ³)	(mg/m ³)	
A	0,86	0,8	61	Trietanolamin
B	0,85	1	39	Trietanolamin och högre aminer
C	1,47	1,6	35	Monoetanolamin
D	3,39	22	360	Trietylamin och högre aminer
E	0	2,8	96	Dietylglykol
F	0	2,2	113	Inget

Tabell 3.1-3. Tillförd mängd ammoniak samt ammoniakemissioner från cement och cementbruk. (Hjellström, 2004)

I tabell 3.1-2 ovan kan man utläsa att samtliga provkroppar innehåller mätbara mängder kväve samt att alla provkroppar utom provkropp F innehåller malhjälpmedel. Generellt sett kan man säga att cement mald med aminbaserade malhjälpmedel innehåller mera kväve. Däremot återspeglar inte detta ammoniakemissionerna från cementbruket efter 8 dagar som visas i tabell 3.1-3.

Anledningen till att ammoniakemissionerna i cementbruket är betydligt högre än emissionerna från cementen beror på det tillförda vattnet i bruket. Vattnet är det som startar de kemiska reaktionerna mellan kväve, aminer och alkali i proverna.

Provkropp D visar på högst ammoniakemission för både cement och cementbruk. För de övriga provkropparna malda med aminbaserade malhjälpmedel är dock ammoniakemissionerna lägre än för det glykolbaserade malhjälpmedlet samt provkropp F som inte innehåller något malhjälpmedel. Anledningen till detta tros vara att de olika malhjälpmedlen har olika stabilitet. Exempelvis kan det vara så att det glykolbaserade malhjälpmedlet ger upphov till kemiska reaktioner mellan kväve och alkali medan en del aminbaserade medel inte gör det. Det vill säga hur enkelt dessa bryts ned och bildar ammoniak. Vad som dock inte framgår av Tina Hjellströms resultat är hur dessa malhjälpmedel påverkas efter en längre tid av hög relativ fuktighet och alkalitet. Provkropparna som studerades hade en tjocklek på 15mm. Efter 14 dagar klingade emissionerna och av den anledningen är det därför troligt provkropparna var relativt torra. Dessa förutsättningar motsvarar inte förhållanden för nygjuten betong som kräver betydligt längre tid att torka i synnerhet om plattan belagts med pe-folie och parkett.

I Miljö och hälsoskyddsnämnden vid Gotlands kommun tillståndsprövning för Slite fabriken(Dnr:05-2901)framgår det att ett aminbaserat malhjälpmedel (Berolamin 20)har används i mängden omkring 500ton/år. Siffran är från 2006. Cementa uppger att man som sagt inte längre använder aminbaserade malhjälpmedel. Det ska istället använda avfall från organisk industri i mängderna 700 ton/år enligt tillståndsprövningen. Vad detta avfall innehåller har det inte gått att få fram då det saknas produktdatablad.

3.1.6 Flygaska

Flygaska är en restprodukt som erhålls vid rökgasrening. Denna erhålls då rökgaser från förbränningsprocesser sprejas med ammoniak för att neutralisera bland annat salpeter eller NO_x - föreningar. Beroende på driftförhållanden vid rökgasreningen kan en del av den tillsatta ammoniaken hamna i askan.

I en del länder som Danmark används granulerad flygaska som ett tillsatsmaterial i cementtillverkning. Flygaskan som används i Danmark kommer från koleldade värmekraftverk. Anledning till att man använder denna är att askan ersätter en del av cementklinkern vilket ger en billigare cement med en del förbättrade egenskaper t.ex. stabilare betong. Att betongen blir stabilare beror på att mängden fast material i cementpastan blir högre i betongen. Risken för blödning samt separation minskar därför också i betongen. Betong innehållande flygaska kräver emellertid mer luftporbildande tillsatsmedel än vad som normalt krävs i ren portlandcement (Teknologiska Institutet).

När cement innehållande flygaska blandas med våt betong som där till även är starkt alkalisk kan ammoniaken från flygaskan frigöras (Bødker, 2006).

Sveriges cementtillverkare Cementa AB skriver i sin hållbarhetsredovisning från 2007 att alternativa tillsatsmaterial utnyttjas i produktionen av klinker och som tillsatsmaterial i cementmalningsprocessen. De alternativa tillsatsmaterialen uppges kunna vara masugnsslagg eller flygaska, båda oförbrännbara restprodukter som normalt läggs på deponi. Anledningen till detta är att spara på naturresurser samt att minska koldioxidutsläpp. Statistik för användandet av flygaska vid cementas fabrik i Slite Gotland för åren 2006 samt 2007 visas av tabellen nedan.

Tillsatsmaterial (ton)	2006	2007
Flygaska	30 221	8 208
Kiselbärare	3 708	0
Järnbärare	8 285	6 415
Aluminiumbärare	873	11 278
Gjuterisand	0	0

Tabell 3.1-4: Tillsatsmaterial i ton för Slite. Statisk hämtade från cementas hållbarhetsredovisning från år 2007.

Efter kontakt med HeidelbergCements miljöavdelning HC miljö och Anders Jansson så används inte flygaska som tillsatsmaterial i svensk cement idag med undantag för några få "specifika projektrelaterade leveranser". Vidare informerar HC miljö att flygaska däremot kommer att ingå i svensk standardcement inom de närmsta åren. Men av statistiken framgår att flygaska har nyttjats vilket kan förklara ammoniakhalterna som mätts upp i betong på senare tid.

3.2 Betongtillverkning

3.2.1 Flygaska i betong

Flyg- och slaggaskors användande i svensk betong regleras i SS 13 70 03- Användning av SS-EN 206-1 i Sverige, utgåva 4. Askorna får användas i samtliga exponeringsklasser samt i mängder mellan 25-50 % av cementvikten beroende på klass.

Flygaskan används som fillermaterial i betong. Självkompakterande betong (SKB) innehåller höga halter av fillermaterial. Normalt används kalkstensmjöl som fillermaterial i denna typ av betong i Sverige. Hur utbredd användningen av flygaska som fillermaterial i SKB idag är svårt säga eftersom hemlighetsmakeriet bakom betongtillverkarnas betongrecept är stort. Fördelarna som tillverkarna vinner på att använda flygaska som fillermaterial gör dock att det är troligt att det förekommer. Utöver att man minskar på kalkstenen i betongen så minskar även andelen ballast med bibehållen cementhalt i betongen. Askan förbättrar dessutom betongens hållbarhet tack vare dennas puzzolana (självhårdande) effekter vilket är något man inte får av inert filler som t.ex. kalk (Teknologiska Institutet)

Enligt SS-EN 206-1 får betong innehålla flygaska som uppgår till 25 % av cementvikten i betongen. Även högpresterande betong (HPB) kan innehålla flygaska. Tanken med HPB är att denna ska ha förbättrade egenskaper i ett eller flera olika avseenden exempelvis kortare uttorkningstid, beständighet och täthet än vanlig betong.

Högpresterande betong kännetecknas av lågt vct ($>0,40$) samt att de innehåller silikastoft. Silikatsstoffet har inverkan på betongens täthet vilket i sin tur ger en starkare betong. Detta åstadkoms genom att silikan fyller de allra minsta porerna mellan ballastmaterialen. Stoffet som används i HPB består av amorf kiseldioxid (SiO_2) vilket är ett restmaterial från tillverkning av legeringsämnen i stål. Materialet är mycket finkornigt och tillsätts i mängder omkring 5-10% (Burström, 2007), av cementvikten. Flyaska kan ersätta silikan i HBT då denna också innehåller mycket finkorniga sfäriska och släta fraktioner samt att flyaskpartiklarna i huvudsak består av amorf SiO_2 och Al_2O_3 .

Cement tillsammans med ballast är de tunga kostnadsposterna i betong. På grund av flygaskors självhårdande egenskaper kan man ersätta en del av cementen i betongen. Minskning av dessa parametrar med bibehållna eller förbättrade egenskaper samt billigare betong som incitament för tillverkaren gör att flygaskans inblandning i betong är högst sannolikt.

Kostnadsfördelning per kbm	%-andel
Ballast	37
Cement	51
Tillsatsmedel	11
Vatten	1

Tabell 3.2-1 Kostnadsfördelning i % för en m^3 betong. AB Sydsten.

3.2.2 Ballast och sprängämnesrester

Ballasten i svensk betong har länge utgjorts av natursten från rullstensåsar. De runda släta grusfraktionerna från rullstensåsarna uppskattas vid betongtillverkning på grund av dessa parametrars inverkan på arbetbarheten i betongen. I dagens läge råder det dock lokalt stor brist på natursten i Sverige. Dessutom vill man bevara de naturgrustäkter som finns kvar i landet. Med denna bakgrund har betongindustrin fått söka sig till alternativ ballast till betongtillverkning. Den alternativa ballasten som används mer och mer i dag utgörs av krossat berg så kallad krossballast.

Nackdelen för betongtillverkarna med detta byte är fraktionernas större specifika yta. Detta leder till en ökad åtgång av cement som man av kostnadsskäl helst vill reducera. Krossballasten kubiseras av denna anledning för att minska fraktionernas ytor för att mer likna naturstenen. Vid användning av enbart krossten i betongen får man dock inte någon bra gradering av fraktionerna. Man brukar därför blanda både kross och natursten för att få en bättre gradering.

Krossballast fås via bergtäkter där man krossar så kallad sprängsten till mindre fraktioner. Det eventuella problemet med ammoniak som detta medför i betongen är sprängämnesresterna som alstras i ballasten. Sprängämnen som nyttjas i byggbranschen idag är baserade på blandningar av nitroglycerin ($C_3H_5(NO_3)_3$), vattengel eller ammoniumnitrat. Det finns även nitroglycerinfria sprängämnen så kallade emulsionssprängämnen. Användandet av emulsionssprängämnen har ökat på senare tid på grund av att de är relativt miljövänliga och säkra att ladda. Gemensamt för dessa sprängämnen är dock att det innehåller högkoncentrerade nitratlösningar som bildar NO_x -gaser. Utvecklingen av NO_x -gaserna leder till en snabb volymökning som fullbordar detonationen av sprängämnet. Dessa NO_x -gaser bidrar till högre kväveinnehåll i ballasten som används i betongtillverkningen. Enligt Arne Hellström på betong.se bedöms dock dessa rester som så pass små att de kapslas in i betongens bindemedel och att de på grund av detta inte ska medföra några risker för människan eller miljön.

Den 1 juli år 2007 trädde nya föreskrifter om sprängarbete, AFS 2007:01 i kraft. Föreskrifterna ställer krav på flera sprängkapslar per laddat borrhål. Detta för att minska förekomsten av o-detonerat sprängmedel i sprängda bergmassor. Sprängkapslar används som tändmedel till de primära sprängämnen. Även dessa kan innehålla nitrater vilket i så fall ökar kvävemängderna i sprängmassorna. Hur detta påverkar kväveinnehållet i ballasten vet man dock inte.

3.2.3 Tillsatsmedel i betong

De absolut vanligaste tillsatsmedlen i betong är flyttillsatsmedel. Flyttillsatser används i betong på grund av dessas positiva inverkan på arbetbarheten. Dessutom leder tillsatsen till jämnare betongytor. Eftersom dagens betong ofta innehåller krossballast ökar användandet av flyttillsatsmedel. Detta på grund av stenfraktionerna i krossballast är betydligt kantigare och kärvare än ballast av natursten. Fraktionerna påverkar arbetbarheten hos betongen vilket leder till större inblandning av flyttillsatser.

Fram tills slutet på 90-talet var sulfonerad melamin polymer (SMP) ett mycket vanligt flytmedel till betong. I dag är det således mindre vanligt men det förekommer fortfarande som tillsatsmedel i vissa betongtillverkares recept. Övriga tillsatsmedel i betong är sällan aminbaserade. Det övriga tillsatsmedel som är aminbaserade är gamla betongacceleratorer. De melaminbaserade flyttillsatserna benämns idag som andra generationen flytmedel.

Användandet av aminbaserade tillsatserna är som beskrivs ovan inte särskilt utbrett idag. Det går dock inte helt och hållet avskrivas som orsaker till ammoniak i betong. En annan aspekt av en högre inblandning av tillsatsmedel i betong är att detta kan påverka annars stabila kvävekällor i betongen. Detta med hänsyn till hur olika malhjälpmiddel påverkade ammoniakemissionerna i cement och cementbruk som Hjellström undersökte i "Chemical emissions from concrete".

3.2.4 Formolja

Formolja har även nämnts som en källa till kväve i betong. Detta på grund av att de är baserade på vegetabiliska estrar eller mineraliska baser av fossilt ursprung innehållande kväve.

Användningsområdet för formolja är att underlätta betong att släppa från gjutform. Oljan fäster mot formytan vilket skapar ett hydrofobt skikt mot betongen. Detta skapar en repellation mellan oljan och betongen vilket underlättar "släppande" av formen. På grund av detta är det viktigt att inte blanda in formolja i betongen då detta kan generera en mycket ogynnsam vidhäftning mellan cementpasta och ballast.

Med denna kännedom är det mindre troligt att formolja skulle ge ett högre kväveinnehåll i betong som i sin tur skulle ge emissioner av ammoniak. I de fall då ammoniak påträffas i betongen påvisas detta genom hela elementets tjocklek. Formolja skulle enbart ge kvävetillskott på ytan vilket inte är fallet. Någon nämnvärd påverkan till ammoniakemissioner skulle således enbart påverka ytan av betongen. I detta fall skulle antagligen ammoniak snabbt klinga av likt som det gör vid mätningar innan golvläggning.

4. Provtagningsmetoder för att mäta emissioner och fukt i luft och betong

I följande avsnitt beskrivs de huvudsakliga mätmetoderna som används i de skadeutredningar som AK Konsult Indoor Air AB har utfört. Mätmetoderna involverar ammoniak, amin, TVOC och fukt mätningar.

4.1 Ammoniak och amin-mätningar

4.1.1 Provtagning med reagensrör typ Dräger

Vid provtagning av ammoniakhalter har oftast reagensrör av typ Dräger 2/a (2-30ppm) används. Ammoniakkoncentrationerna har bestämts under stegljudsdämpare, i rumsluft samt i utborrade provkroppar från betongplattorna. Uttagna provkroppar har sedan placerats i glasbehållare med låg emitterande lock där proverna sedan har jämnviktat med luften i behållaren. Locket är försett med genomföring med provtagningsventiler monterade. Efter 3-5 dygns jämnviktning har luftprov från behållare pumpats med Drägerpump genom drägerrören. Normal provtagningsvolym är 5dl reagensrör med avläsningsintervall 2-30ppm. I de fall det föreligger en risk med att reagensröret bottenar kan istället för reagensrör 5/a användas för mätning. Avläsningsintervallet för ammoniak är då istället 5-70ppm vid 1l provtagningsluft eller 50-700ppm vid 1dl provtagningsluft.

När ammoniak eller aminer påträffas i provtagningsluften färgas reagensröret blått. På en skala på reagensröret avläses sedan ammoniakkoncentrationen. Mätosäkerheten vid avläsning sägs av tillverkaren vara ca $\pm 10-15\%$.



Bild 4.1-1. Dräger handpump med reagensrör.

4.1.1 Provtagning med direktvisande gasmonitor typ Brüel & Kjaer 1302

Alternativ mätmetod för indikering av ammoniak och aminer som har används vid fältundersökningar av AK Konsult har utgjorts av en direktvisande gasmonitor typ Brüel & Kjaer 1302. Utrustningen används för att mäta flera olika ämnen samtidigt. Gasmonitorn är utrustad med fem stycken optiska filter vilket möjliggör mätning av fem olika ämnen. Ammoniakkoncentrationer erhålls tillsammans med totalhalten aminer i provtagningsluften. Detektionsgränsen för totalhalten av aminer är 0.2ppm.

Andra ämnen som gasmonitorn är kalibrerad till att detektera är koldioxid, kolmonoxid, metan och vattenånga.

4.2 VOC och TVOC-mätningar

4.2.1 Volitale organic compounds VOC

I lägenheter där boende själva sätter sjukdomssymptom i samband med bostaden detekteras ofta avvikande halter av flyktiga organiska ämnen. Dessa ämnen brukar normalt benämnas VOC efter engelskans Volatile organic compound. När man talar om organiska ämnen syftar man till olika kemiska föreningar med grundämnet kol. Kolet förenar sig med sig självt och bildar ringstrukturer eller långa kedjor. Flyktigheten för ett ämne förhåller sig till dess kokpunkt d.v.s. hur enkelt det förångas och emitteras till inomhusluften. Emissionerna härstammar främst från byggnads- samt inredningsmaterial mm (socialstyrelsen).

World Health Organisation WHO har sammanställt och rekommenderat en indelning av flyktigheten av VOC enligt nedanstående kokpunkter.

<0 till 50–100 °C	VVOC	Mycket flyktiga
50-100 till 240–260 °C	VOC	Flyktiga
240-260 till 380–400 °C	SVOC	Halvflyktiga
>380 °C	POM	Partikelbundna

Tabell 4.2-1. Klassning av flyktighet

I nyproducerade och nyrenoverade byggnader påträffar man relativt höga koncentrationer av VOC i inomhusluften. Koncentrationerna klingar dock av med tiden i takt med att emissionerna från byggnads- och inredningsmaterial minskar. Den dominerande källan till emissionerna kommer där efter från själva brukandet av byggnaden samt dess material. De vanligaste ämnesgrupperna av VOC som påträffas i inomhusluften är olika alifatiska samt aromatiska kolväten. Alifatiska kolväten ingår bland annat i lacknafta som används som lösningsmedel i olika produkter till exempel lim, mjukgörare för PVC-mattor och impregneringsmedel. Aromatiska kolväten som vanligast påträffas i inomhusluften är bensen som används som lösningsmedel i exempelvis lack, lim, fogmassa samt färger.

Normalt i bostäder mäter man upp halter av VOC i intervallen 30-200µg/m³. Halter över 200µg/m³ kan bedömas som avvikande eller vidare som höga beroende på som nämns ovan av byggnadens ålder. VOC-halterna som dokumenterats i AK Konsults skadeutredningar har sällan beskrivits som höga i relation till byggnadernas ålder. Ändå skall poängteras att brukarna av dessa bostäder från början har efterkallat en utredning på vad som kan beskrivas som sjukahus-symptom.

I dagsläget finns näst intill inga gränsvärden för VOC då man inte kan sätta de olika ämnena samband med sjukahus-symptomen. Enligt socialstyrelsen kan detta bero på att de ofta inte är det enstaka föreningarna för sig som är skadliga utan den sammanlagda effekten av flera olika föreningar TVOC(Total volatile organic compounds). Utöver detta så kan man även säga att människor reagerar mycket olika på dessa föreningar. En del känner inte av några symptom överhuvudtaget medan andra kan utveckla grövre symptom så som astma. Göran Stridh, pensionerad kemist vid Yrkes o. Miljömedicinska Kliniken i Örebro menar att sjukahus-symptom hos människor i dessa miljöer eventuellt kan bero på att en del luktsensationer i samband med dessa ämnen får olika system i kroppen att "spåra ur" vilket visar sig exempelvis med svällning av slemhinnor mm.

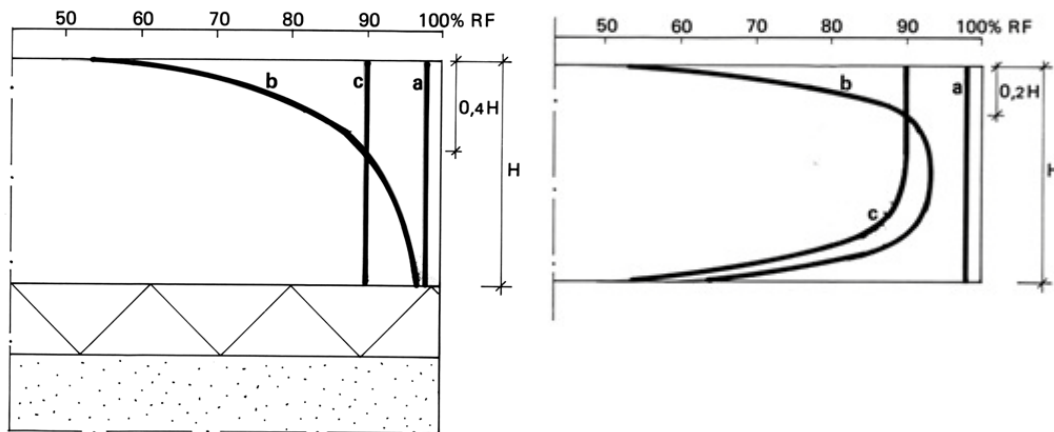
4.2.2 Provtagning med FLEC-metoden

FLEC (Field and Laboratory Emission Cell) används för att mäta emissioner från material. Detta är ett bra instrument att mäta emissioner direkt mot materialytan vid fältmätningar. Instrumentet kan liknas som ett lock som placeras mot betongytan. Luft trycks in via en springa i kanten av mätkammaren. Luften strömmar över betongytan och ut genom ett rör i mitten. Kolvätena i luften absorberas sedan det förts vidare genom en kolabsorbent. Genom analys kan sedan de förekommande föreningarna samt den totala mängden flyktiga föreningar bestämmas. Resultatet ger en stor noggrannhet, emellertid påverkas mängden emissioner och arten av emitterade ämnen av t.ex. fukttinnehåll samt underlagstyp som materialet ligger an.

4.3 Fuktmätningsmetoder

4.3.1 Ekvivalent mättdjup

Vid uttorkningen av ett betongbjälklag sker uttorkningen först vid ytan, medan mitten av plattan har ett större fukttinnehåll. När sedan golvbeläggningen av ett tätt ytskikt appliceras kommer fukten i betongen sträva efter jämvikt, d.v.s. den relativa fuktigheten kommer ha en jämn fördelning genom betongtvärsnittet, se figur 4.3-1. På ett visst djup råder det fukttillstånd som kommer vara genom plattans hela tjocklek, efter att fukten jämnats ut. Vilket även benämns som ekvivalent djup. Beroende på om plattan torkar åt ett eller två håll varierar detta djup. Enkelsidig uttorkning sker vid platta på mark med cellplast som underliggande isolering. När den underliggande isoleringen utgörs av mineralull sker normalt en viss uttorkning nedåt om isoleringen är torr. Dock tas normalt ingen hänsyn till detta. Enkelsidig uttorkning sker även vid kvarsittande plåtform. Det ekvivalenta djupet sätts till $0,4 \cdot H$, där H motsvarar plattans tjocklek, se figur 4.3-1. Vid dubbelsidig uttorkning kan plattan torka ut åt två håll. Ett typexempel på det är platsgjutet mellanbjälklag, ekvivalenta djupet är då $2 \cdot H$.



Figur 4.3-1

Enkelsidig uttorkning för golv på mark med underliggande cellplast.

a = fuktprofil före uttorkning,

b = fuktprofil under uttorkning, *c* = fuktprofil efter golvläggning och omfördelning av fukt under mattan.

H = plattans tjocklek. /1/

(RBK 2005)

Om bjälklaget är en pågjutning av kvarsittande betongform(plattbärlag), sätts det ekvivalenta djupet till $0,25 \cdot H$. i detta fall motsvarar *H* hela tjockleken d.v.s. plattbärlag och pågjutning. Detta förutsätter att pågjutningen har högre vct än betongen i plattbärlaget. Om det inte är fallet används djupet $0,2 \cdot H$.

Avjämnning av betongbjälklaget tas inte med vid beräkning av ekvivalent djup om så skulle vara fallet, d.v.s. endast plattans tjocklek tas med i beräkningen.

4.3.2 Humi-Guard

För fuktbestämning i provkroppar (kapitel 8) användes kvarsittande RF-givare ingjutna i betongplattorna av fabrikat Humi-Guard. RF-Givaren i fuktmätningssystemet är utrustad med en fiberväv som är impregnerad med en hygroskopisk elektrolyt. Elektrolyten upptar eller avger fukt från betongen för att ständigt stå i jämvikt med betongprovet. Givaren ska ha varit monterad i fyra dagar innan första avläsning kan ske. Därefter mäter instrumentet konduktansen mellan två stycken elektroder placerade i fiberväven. Av instrumentet avläses sedan relativ fuktighet samt temperatur i borrhållets botten. (RBK 05)

4.3.3 Uttaget RF prov

Vid RF mätningar med uttagna prover borrar ett hål ned till 5mm ovanför önskat mätdjup. Innan uttagningen av materialprover dammsugs hålet så borrhax avlägsnas. Betongen tas ut genom att man bilar loss små bitar av betongen. Det uttagna provet ska omedelbart placeras i ett glaströr och förslutas. RF fördelningen analyseras sedan på labb, d.v.s. ett utrymme där fuktens variation i tiden kontrolleras.

Vid kontroll av fuktprofilen genom betongplattan borrar steg för steg ned till olika djup. Uttagning sker genom samma förfarande som tidigare beskrivits.

Före RF bestämning av uttaget material ska proverna ligga i provröret tre dagar innan kontroll kan göras. Mätningarna görs med en RF-givare som monteras på provröret. Mätaren ska vara placerad minst tolv timmar innan avläsning.

RF bestämning genom uttagna prover är den säkraste metoden att mäta är då felkällor kan minimeras. Enligt RBK är standardosäkerheten 0% då samma givare används i mät- och referensposition. (RBK 05)

4.3.4 Borrhålsmätning

Hålets placering i konstruktionen väljs för så att möjliga felkällor kan minimeras. Platsen för mätningen skall ske där betongen kan antas vara fuktigast, t.ex. i eventuella svackor i betongen. Efter att hålet är borrarat är det mycket viktigt att dammsuga eller blåsa ut hålet. Detta är p.g.a. att kvarvarande borrhax kan ge felaktiga RF värden. I hålet placeras ett plaströr som tätas upp- och nedtill. Borrningen och tätningen ska utföras 3 dygn innan mätningen för att inte betongen ska påverkas. RF mätning genomförs att en RF givare monteras i hålet. De givare som kan användas är Humi guard, Vaisala eller Testo.

Humi guard en kvarsittande RF givare som ska monteras i samband med att hålet borraras. Givaren ska vara placerad fyra dagar innan första avläsningen kan göras som nämnts tidigare. Därefter kan avläsningen ske kontinuerligt.

RF mätningar i hålet med ej kvarsittande givare utförs med Vaisala eller Testo givare. Vid montering sker en luftomväxling i röret därför ska mätaren vara placerad i hålet tolv timmar innan avläsning. Tiden mellan montering och avläsning beror även på att givaren ska ställa sig i fuktjämvikt med betongen. (RBK 05)

5 Tidigare forskning

5.1 Problemen i Danmark

I Danmark har man stött på liknande problem med ammoniak i betong. Ammoniaken i betongen har lett till missfärgningar av ekparkett precis som här i Sverige. Anledningen till danskarnas problem med ammoniakemissioner har uppgetts vara just flygaskans inblandning i cement. Teknologiska institutet i Köpenhamn har tillsammans med NCC Danmark kommit fram till att ammoniakemissionerna dock enbart leder till missfärgningar och inte till inomhusmiljöproblem.

NCC Danmark vägrar nu att lägga mer ekparkettgolv på betongkonstruktioner innan problemet är helt löst. Trots att inte alla NCC:s projekt drabbas av problemet så vill de inte ta risken att lägga mer ekparkett förrän man vet vilken relativ fuktighet som krävs i betongen för att inga skadliga emissioner ska produceras (Andersen, 2009).

5.2 Tina Hjellström, *Chemical emissions from concrete*

Tidigare forskning kring ämnet är begränsad. Tina Hjellström har gjort en avhandling vid Lunds tekniska högskola som handlar om potentiella emissioner från betong. Studien syftar till att studera ammoniakemissioner från cement malda med olika malhjälpmedel. Mätningar utfördes på 6 stycken provkroppar med tjockleken 15mm. Fem olika malhjälpmedel användes varav fyra innehöll kväve i amin form. Emissionshastigheten av ammoniak från provkropparna fastställdes med FLEC. Efter 14 dagar uppmättes i stort sätt ingen emission från provkropparna.

Hjellström kommer i sina försök fram till emissionshastigheten från betong och bruk påverkas av materialets fuktinnehåll samt porositet. Vidare konstateras att det sker en förhöjd ammoniakemission med malhjälpmedel innehållande kväve i amin form. Dock var det mätbara nivåer även från cement utan malhjälpmedel och från cement med malhjälpmedel utan kväve. Enligt Hjellström visar detta att andra komponenter i cementen innehöll olika kväve som kan ge upphov till emissionerna av ammoniak. Som möjliga kvävekällor nämns malhjälpmedel, flyttillsatser, sprängämnesrester i kalksten samt ballast mm.

5.3 Experimentsella delar

Följande avsnitt är en sammanställning av de material som AK Konsult har kring det berörda ämnet. Materialet består av sex skadestredningar samt en studie i laboratorium på åtta stycken fullskaliga provkroppar.

I vissa objekt har utredningen omfattat flera lägenheter. Det har även gjorts mätningar på lägenheter som ligger intill skadedokumenterade lägenheter. Detta har gjorts för att kontrollera ammoniak och relativa fuktigheten i plattan. Det har då visat sig att det förekommer ammoniak i betongen även i dessa lägenheter. Byggnaderna har producerats av olika entreprenörer och har olika geografiska placeringar, men har det gemensamt att de är relativt nyproducerade. Antagligen har högpresterande betong använts i de utredda objekten.

Av utredningarna framgår att onormala halter av ammoniak påträffats vid ammoniakindikering under stegljudsdämparen. Uppmätta halter uppgår till mellan 10-60 ppm, i tidigare studier anges att halter på ca 5 ppm missfärgar ekparkett (H. Ericsson et al 1984). Missfärgningarna påträffas vid rörgenomföringar och i ändträtt på parketten.

Efter att ammoniakförekomster vid ett flertal tillfällen hade upptäckts vid fältmätningar genomfördes 2008 ett försök i laboratoriemiljö. Experimentet utfördes av AK Konsult tillsammans med en byggtreprenör och en betongleverantör. Under detta försök kontrollerades RF på ekvivalent mätdjup och koncentrationen av ammoniak vid betongytan. Relativa fuktigheten i plattorna kontrollerades kontinuerligt var 7-14 dag av ansvarig på Betongindustri AB. Utrustningen som användes var av märket Humi-Guard. För bedömning av ammoniakhalten användes reagensrör, se nedan för beskrivning av mätmetod. Mätningarna utfördes av erfarna skadestredare på AK Konsult.

Avsikten med experimentet var att undersöka om malhjälpmedel gav förhöjda halter av ammoniakemissioner då tidigare studier hade gjorts på tunna provkroppar(15mm). Provkropparna i denna studie motsvarade fullskaliga bjälklag(150mm). Under försöket innehöll fyra av de åtta provkropparna malhjälpmedel. Resultatet visar att de plattorna som innehöll malhjälpmedel hade förhöjda värden. Dock detekterades tillräckliga koncentrationer för att missfärga ekparkett under stegljudsdämparen på samtliga provkroppar.

Vid undersökningarna av golvkonstruktionerna i de skadade objekten har hål tagits upp i parketten, oftast genom att trösklar skruvats bort. I dessa hål har mätningar och undersökningar av betongbjälklaget gjorts.

5.4 Möjliga Skadeorsaker

Undersökningar som gjordes på golv som skadats av kaseinhaltigt flytspackel förklarade att ammoniakproduktionen berodde på kemiska processer men att mikrobiologiska processer inte kunde uteslutas (Ericsson och Hellström, 1984). Att det kunde röra sig om mikrobiella processer som bröt ner kaseinet var dock byggbranschen mycket mån om att dölja men det bevisades senare att mikrobiell nedbrytning i spacklet var möjlig under rätt rådande förhållanden (Karlsson mfl, 1988).

Eftersom våt betong är starkt alkalisk medför tillförsel av olika instabila kväveföreningar risk för att ammoniak, elak lukt och andra olägenheter uppkommer. Den höga alkaliteten medför även en ogynnsam miljö på grund av högt pH-värde för mikrobiologiska processer i betongen. Vilka kväveföreningar det rör sig om samt vilka processer som resulterar i ammoniak- och andra emissioner vet man inte i dagsläget.

Utvecklingen inom cement och betongproduktionen har lett fram till högre inblandning av tillsatsmedel. Dessa kan vara en orsak till problemet med de onormala emissionerna av ammoniak, då vissa av tillsatsmedlen innehåller kväve i amin- eller melaminform. Enligt Tina Hjellström kan aminbaserade malhjälpmiddel som används vid cementtillverkning avge ammoniak i olika utsträckning (Hjellström, 2004). Hjellström anger även att råmaterialet som används till cement kan innehålla sprängämnesrester som kan vara en potentiell kvävekälla. Flygaska som är en restprodukt från kolkraftverk och värmeverk blandas i betongen för att förbättra dess egenskaper (Burström, 2007). Askan kan användas både som ersättare till klinker i cementproduktionen samt som fillermaterial i betong. I samband med rökgasrening tillsätts ammoniak. Detta gör man för att neutralisera salpeterhaltiga- eller NO_x -gaser. När sedan flygaskan blandas i den våta betongen som är starkt alkalisk kan ammoniaken frigöras (Bødker, 2006).

Även ingående råmaterial i cement och betong kan innehålla kväve i sådana mängder att ammoniakproduktion kan uppstå.

Uttorkningen av byggfukt från betongen kan spela en roll vid uppkomst av missfärgade parkettgolv. Nygjuten betong kan lukta ammoniak. Det kan då antas att viss ammoniakavgivning sker initialt i uttorkningsskedet. Att emissionshastigheten sedan klingar av kan bero på att transporten möjligtvis hindras p.g.a den lägre relativa fuktigheten i plattan. Golvläggning med PE-folie och parkett på betong kan enligt dagens byggnorm ske vid RF 95 % på ekvivalent mätdjup (HUS AMA). När golvbeläggningen sedan läggs på betongen omfördelas fukten, vilket leder till att den relativa fuktigheten på plattans yta stiger (Nevander och Elmarsson, 1994). Tidigare studier har visat att transporter av alkali i betongen kan ske under dessa förhållanden (A. Sjöberg, 1998). Om en kvävekälla finns åtkomlig möjliggör detta produktionen av ammoniak. Djupare ner i plattan råder högre fuktnivåer när golvbeläggning appliceras. I dessa delar kan ammoniakproduktionen antas pågått under en längre tid. När plattan återuppfuktas vid golvläggningen kan transporten av ammoniak från dessa delar eventuellt återupptas.

Studier rörande ammoniakemissioner från betong har utförts i Kina, Japan och Finland. Dessa studier hanterade koncentrationer i rumsluften. Den kinesiska studien visade betong innehållande antifrys tillsatser ger en ökning av emissionshastigheten vid en höjning av temperaturen (Z. Bai et al,

2005). I Finland har studier gjorts på åtta stycken nybyggda hus som också visar en höjning av ammoniakkoncentrationen under sommaren (Järnström mfl, 2006).

6 Utredningar

Introduktion

Genomförda utredningar har omfattat 6 olika objekt. I vissa objekt har utredningen omfattat flera lägenheter. Det har även gjorts mätningar på lägenheter som ligger intill skadedokumenterade lägenheter. Detta har gjorts för att kontrollera ammoniak och relativa fuktigheten i plattan. Det har då visat sig att det förekommer ammoniak i betongen även i dessa lägenheter.

Av utredningarna framgår att onormala halter av ammoniak påträffats vid ammoniakindikering under stegljudsdämparen. Uppmätta halter uppgår till mellan 10-60 ppm, i tidigare studier anges att halter på ca 5 ppm missfärgar ekparkett (H. Ericsson et al 1984). Missfärgningarna påträffas vid rörgenomföringar och i ändträtt på parketten. Vid genomförda riktade VOC mätningar mot golvytan upptäcktes förhöjda emissioner och avvikande ämnesprofiler i de flesta fall avjämning använts ovan betongen.

Objekten har haft olika konstruktioner men i de flesta skadefallen har platta på mark dominerat. Ofta har höga värden av ammoniak mätts upp nära plattförstyvningen där det finns mer betonginnehåll samt större fuktinnehåll. Det finns dock inget som tyder på för hög fuktnivå vid golvläggning. Vid fuktindikering mot bjälklaget har det inte visat på några onormala fuktnivåer. Golvbeläggningen utgörs i samtliga fall utom ett av parkett ovan stegljudsdämpare.

Byggnaderna har producerats av olika entreprenörer och har olika geografiska placeringar, men har det gemensamt att de är relativt nyproducerade. Antagligen har högpresterande betong använts under byggnationen då man idag måste ta stor hänsyn till uttorkningen av betongen.

6.1 Studium av mellanbjälklag

Undersökta objekt som har haft mellanbjälklag omfattar två stycken olika objekt. Mellanbjälklagen är pågjutningar av plattbärlag.

Objekt 1: Lägenhet är placerad i en förort norr om Stockholm. Objektet har tidigare haft ett dokumenterat avloppsläckage. Skadorna som blev till följd av detta åtgärdades genom att delar av parketten byttes ut och betongplattan torkades. I denna lägenhet utfördes tre undersökningar vid olika tillfällen.

Objekt 2: Lägenhet belägen i en mindre stad vid mälaren. De boende kände av besvär med slemhinnorna kort tid efter inflyttning. Undersökningar gjordes på två provpunkter i lägenheten. Den ena provpunkt 1 var i hallen där avjämning av bjälklaget använts den andra provpunkt 2 i sovrummet, där fanns ingen avjämning ovan betongen.

Under utredningen av objekt 2 gjordes även mätningar på bjälklaget belägget rakt under lägenheten som hade uppvisade skador.

De två objekten har samma konstruktion. Dock har bjälklaget i provpunkt 2 i objekt 2 avjämningsmassa ovan betongen.

	Objekt 1		Objekt 2
Konstruktion	Provpunkt 1	Provpunkt 1	Provpunkt 2
Golv	Parkett	Parkett	Parkett
Stegljudsdämpare	Ja	Ja	Ja
PE-folie	Ja	Ja	Ja
Avjämning	Nej	Ja	Nej
Betong	Betong	Betong	Betong
Missfärgning	NEJ	Nej	Nej
Hälsoproblem	Ja	Ja	Ja

Tabell 6.1-1. Golvkonstruktioner för respektive objekt

6.1.1 Skador

I båda objekten har rapporterade skador varit inomhusmiljöproblem. Boende i objekt 1 upplever problem med avvikande lukter i lägenheten. Dessa lukter uppkom efter sanering av ett tidigare vattenläckage. Läckaget ledde till att delar av parketten samt betongbjälklaget fuktades upp. Vid sanering byttes den skadade parketten ut och bjälklaget torkades.

Boende i objekt 2 uppger att de har slemhinnebesvär och att en stickande lukt noterats. Vidare uppges att problemen uppkommit kort tid efter inflyttning. I detta objekt utgörs parketten av annat träslag än ek och därmed har ingen missfärgning uppkommit.

6.1.2 Besiktning

Objekt 1 undersöktes vid tre olika tillfällen. Vid första undersökningen undersöktes orsakerna till de avvikande lukterna som de boende upplevt.

Vid besiktningarna har konstruktionsingrepp gjorts för kontroll och uttagning av materialprover. Vid dessa tillfällen har avvikande lukt konstaterats under stegljudsdämparen. Dock kan detta inte härledas till mikrobiell tillväxt. Vid fuktindikering uppmärksammades inga onormala fuktnivåer med hänsyn till plattans ålder. Den avvikande lukten anges av utredarens bedömning mer vara av kemisk karaktär i objekt 1 och unken rå lukt av golvspackel i objekt 2. I referenslägenheter på samma adress noterades ingen avvikande lukt vid upptaget hål. Denna lägenhet hade inte heller några rapporterade inomhusmiljöproblem.

6.1.3 Emissioner

Under utredningarna av dessa objekt utfördes emissionsmätningar under parketten på de två objekten. Utförda mätningar detekterar halten av TVOC och ammoniak. Dessa mätningar gjordes på tre provpunkter i objekt 1. Vid utförda mätningar kunde förhöjda halter av både TVOC och ammoniak konstateras vid mätningar mot avjämningen/betongen (tabell 1). Koncentrationen av ammoniak och TVOC i inomhusluften i objekt 2 genomfördes också vid detta tillfälle. Något gränsvärden för emissioner från bjälklaget finns inte idag. Enligt H. Järnström mfl. är normala värden på ammoniak i nyproducerade byggnader efter 6 månader under 1ppm i rumsluften. I objekt 2 understiger ammoniakhalten i rumsluften 1ppm vilket med hänsyn till detta anses som normalt. Provtagningarna utfördes med direktvisande gasanalysator Brüel & Kjaer 1302.

Provpunkt	Mätning	TVOC (ppm)	Ammoniak (ppm)
Objekt 1			
PP 1	Mellan plastfolien och betong	21	13
PP 2	Mellan plastfolien och betong	23	>60
PP 3	Mellan plastfolien och betong	9	7
Objekt 2	Mot avjämningen	61,5	16,8
Objekt 2	Mot Rumsluften	3,77	< 1

Tabell 6.1-2 TVOC och NH₃ objekt 1 och objekt 2

Efter att golvbeläggningen och plastfolien tagits bort i objekt 1, genomfördes ytterligare mätningar av ammoniak med direktvisande gasanalysator Brüel & Kjaer 1302. Riktade mätningar mot inomhusluften och bjälklaget utfördes. Resultatet av dessa provtagningar redovisas i tabell 6.2-3 och -4. Provtagningar utfördes inte på samma plats som tidigare genomförda provtagningar. Halterna av ammoniak visade sig vara låga efter att golvbeläggningen rivits ut.

Ammoniakhalt i rumsluft och mot bjälklag

Provpunkt	Mätning	Ammoniak (ppm)	Ammoniak (mg/m ³)
Objekt 1			
PP 4	Mot Rumsluft	0,4	0,28
PP 5	Mot Rumsluft	0,4	0,28
PP 6	Mot Rumsluft	0,4	0,28

Tabell 6. 1-3. Koncentration av ammoniak i inomhusluften

Provpunkt	Mätning	Ammoniak (ppm)	Ammoniak (mg/m ³)
Objekt 1			
PP 4	Mot bjälklag	0,4	0,28
PP 5	Mot bjälklag	1,2	0,84
PP 6	Mot bjälklag	0,7	0,49

Tabell 6.1-4. Koncentration av ammoniak mot bjälklaget

6.1.4 Jämviktkoncentration, deponerade VOC i betongen

I objekt 2 utfördes VOC analyser av uttagna materialprover. Analyserna visar koncentrationen av VOC genom betongprofilens tvärsnitt (tabell 6.2-5). I punkten där proverna tagits ut har betongen avjämnats med avjämningsmassa. Resultatet visar att de högsta halterna av TVOC spårades i avjämnningen. De ämnen som dominerade i de undersökta proverna var terpenier och 1-Butanol. Terpenier är vanligt förekommande och avges ifrån trämaterial. 1-butanol förekommer oftast vid nedbrytning av färger och lösningsmedel.

Objekt 1	Nivå (mm)	TVOC (µg/m ³) toluenekvivalenter	1-butanol (µg/m ³)	2-etyl-1-hexanol (µg/m ³)
Provpunkt				
PP 1	0-10	17000	2300	Ej detekterat
PP 1	10-20	12400	1600	Ej detekterat
PP 1	20-40	2000	Ej detekterat	Ej detekterat

Tabell 6.1-5. Totalhalten flyktiga organiska ämnen, 1-butanol och 2-etyl-1-hexanol

6.1.5 Jämviktskoncentration ammoniak

Mätningarna av jämviktskoncentrationen av ammoniak och den relativa fuktigheten i betongen i objekt 1, är gjorda efter att golvbeläggningen tagits bort. Materialprov av betongen borrades ut på två platser i lägenheten. För kontroll av ammoniak djupare ner i plattan togs prover från olika nivåer i bjälklaget. Kontroll av relativa fuktigheten utfördes på två nivåer i bjälklaget. Efter uttagning har proverna placerats i glasbehållare under tre dagar för att nå jämvikt med luften. Koncentrationen har sedan kontrollerats med reagensrör Dräger. Resultatet av mätningarna i objekt 1 redovisas i diagram 6.1-1 och -2.

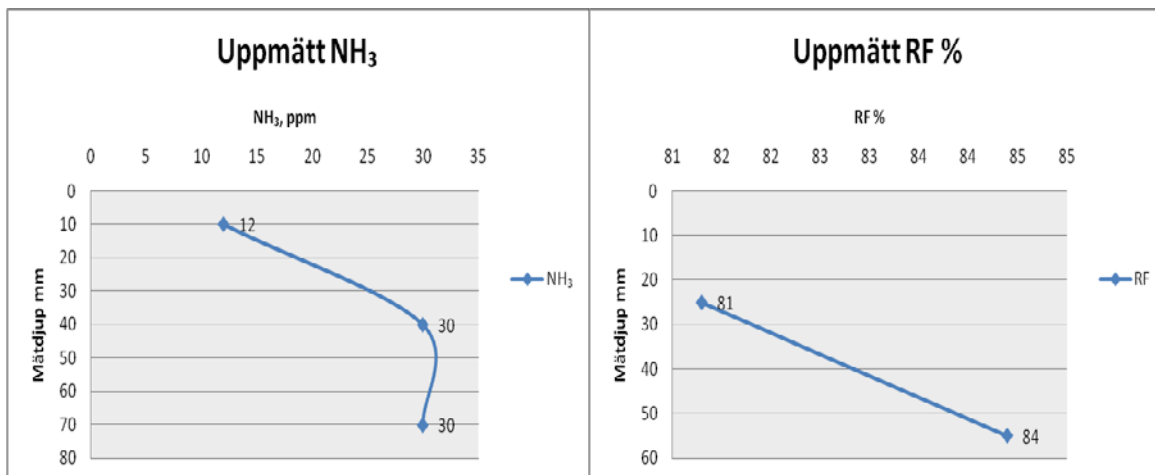
Mätpunkt P1

Diagram 6.1-1. Ovanstående diagram visar profiler över erhållna mätvärden för NH₃ respektive RF i P1 objekt 1. Blå linje mellan mätvärden visar förväntad nivå mellan mätvärdena om jämn fördelningen mellan mätpunkter förutsätts.

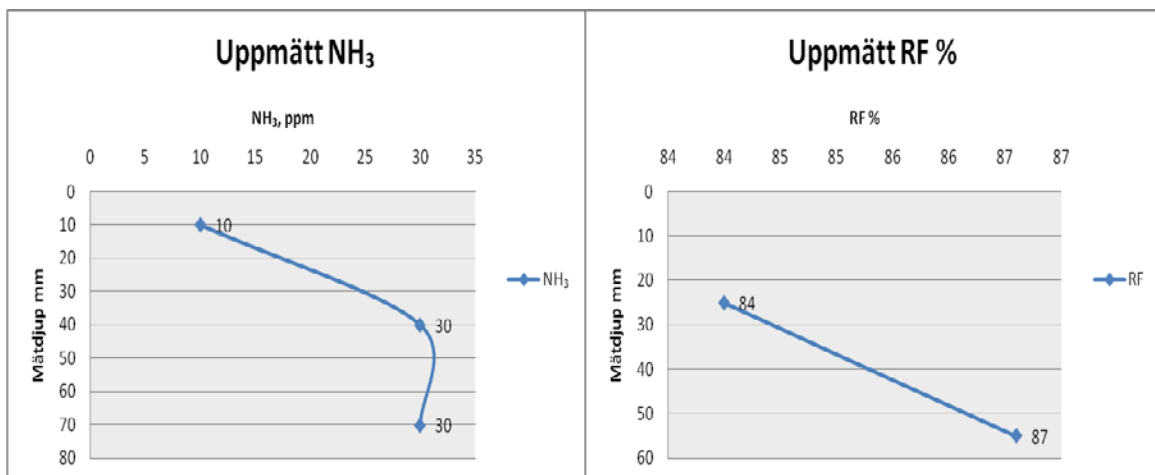
Mätpunkt P2

Diagram 6.1-2. Ovanstående diagram visar profiler över erhållna mätvärden för NH₃ respektive RF i P2 objekt 1. Blå linje mellan mätvärden visar förväntad nivå mellan mätvärdena om jämn fördelningen över tvärsnittet förutsätts.

Objekt 2

I provpunkt 1 finns avjämning ovan betongen. I denna punkt detekterades lägre halter ammoniak under stegljudsdämparen jämfört med provpunkt 2 där avjämning inte fanns.

Drägerröret som används vid jämviktsmätningarna mäter upp till 30 ppm. Denna halt uppnåddes vid provpunkt 2(Diagram 6.1-4) på nivån 20-40 mm. På nivåerna 40-60 samt 60-80 mm översteg ammoniakkoncentrationen reagensröret skala, därför kan inga halter redovisas på dessa nivåer. På grund av detta överstiger koncentrationerna sannolikt 30ppm i detta intervall. Emissionsmätningar på nivå 0 gjordes under parketten och plastfolien. Detta gjordes direkt efter friläggning av intilliggande betongyta där materialprover från betongen togs upp.

Proverna som gjordes på bjälklaget i lägenheten utan påvisade problem visade att ammoniak förekom i hela tvärsnittet hos betongprofilen(Diagram 6.1-5). Bjälklaget var beläggat under den berörda lägenheten och därmed hade det längre tid att torka ut. Dessa mätningar visar även att ammoniak kan finnas i betongen utan att det uppkommer skador.

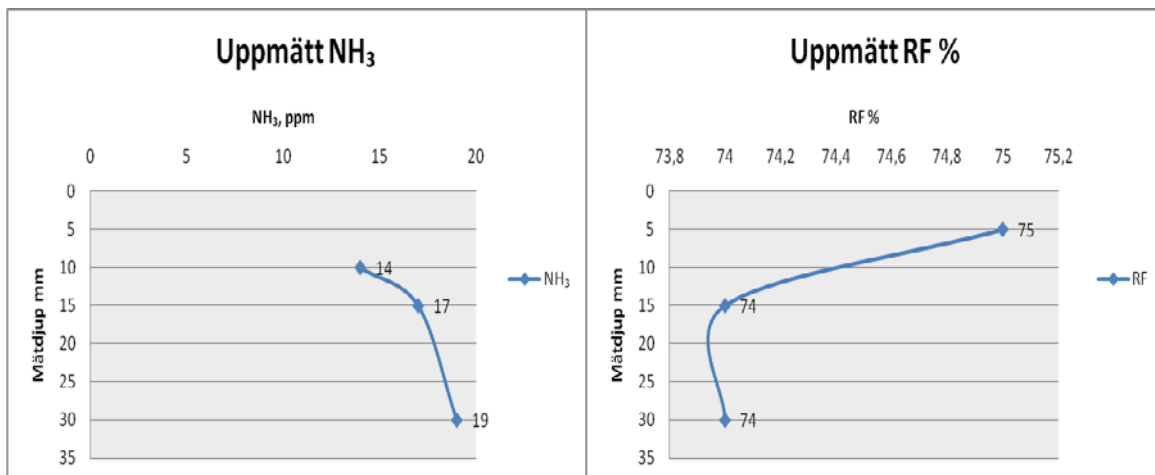
Provpunkt 1 (Med avjämning)

Diagram 6.1-3. Ovanstående diagram visar profiler över erhållna mätvärden för NH_3 respektive RF i P1 objekt 2. Blå linje mellan mätvärden visar förväntad nivå mellan mätvärdena om jämn fördelningen över tvärsnittet förutsätts.

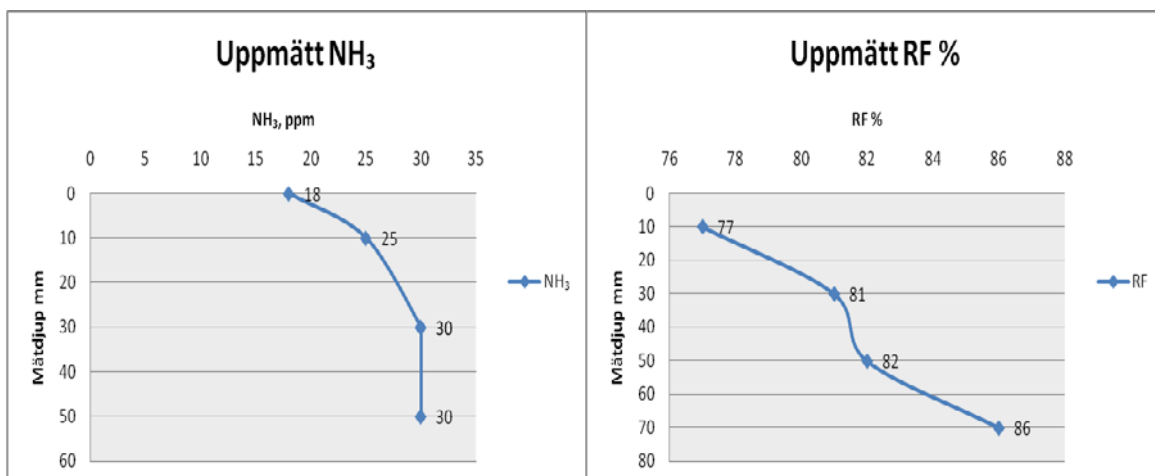
Provpunkt 2(Ingen avjämning)

Diagram 6.1-4. Ovanstående diagram visar profiler över erhållna mätvärden för NH_3 respektive RF i P2 objekt 2. Blå linje mellan mätvärden visar förväntad nivå mellan mätvärdena om jämn fördelningen över tvärsnittet förutsätts.

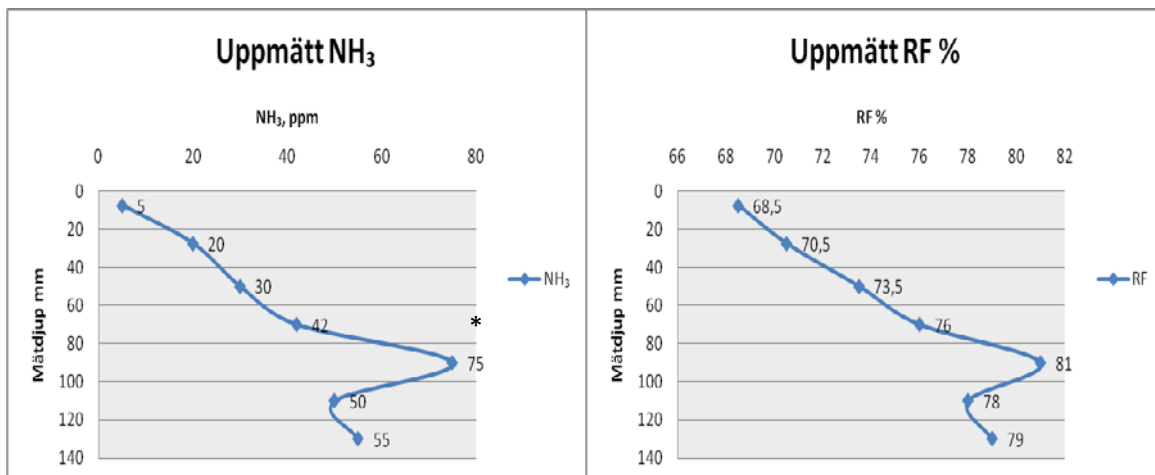
Referenslägenhet i objekt 2 (bjälklaget under skaderapporterad lägenhet)

Diagram 6.1-5. Ovanstående diagram visar profiler över erhållna mätvärden för NH₃ respektive RF i referenslägenhet objekt 2. Blå linje mellan mätvärden visar förväntad nivå mellan mätvärdena om jämn fördelningen över tvärsnittet förutsätts.

I referenslägenheten uppmättes lägre halter än i problemlägenheten, under stegljudsdämparen uppmättes 3 ppm. Vilket är var betydligt lägre jämfört med lägenheten ovanför där uppmättes 18 ppm under stegljudsdämparen. Dock visar uppmätta prover att det finns högre koncentration av ammoniak längre ner i bjälklaget. Den ammoniak halt som uppmättes vid ytan i problemlägenheten, uppmättes även i denna lägenhet. Dock uppnåddes denna halt på 20 mm djup i referenslägenhetens bjälklag.

7 Studium av platta på mark

7.1 Avjämnade betonggolv

Följande avsnitt hanterar utredningar av platta på mark som avjämnats med flytspackel. Detta omfattar två stycken skilda objekt.

Objekt 3: Radhusområde i närförort till Stockholm. Utredningen omfattar total nio bostäder. I två av bostäderna har en fördjupad utredning ägt rum. Detta på grund av att det var dessa två bostäder som initialt rapporterade inomhusmiljöproblem i form av avvikande lukt samt missfärgningar på ekparkett golv. Efter att ha genomfört utredning av dessa två hushåll undersöktes resterande sju bostäder. Anledningen till detta var att säkerställa skadebildens omfattning för att förhindra framtida problem för beställaren på grund av fler tillkallade utredningar. I den utökade utredningen påträffas missfärgningar i sex av sju hushåll medan avvikande lukt noteras som svagt avvikande till tydligt avvikande i samtliga sju.

Objekt 4: Utredningen omfattar en enskild bostad belägen i norr om Stockholm. Huset blev färdigställt under sommaren 2007. Undersökningen ägde rum i oktober och november månad samma år. I denna utredning har ekparkettgolvet ej missfärgats. Däremot rapporteras det om sjukahus-symptom hos de boende. Besvären som nämns och som ligger tillgrund till själva skadeutredningen är rinnande näsa och ögon, nästäppa samt astma. Efter en grundlig undersökning av bostaden uppmäts avvikande halter av ammoniak i betongplattan.

Både objekt 3 och 4 har samma golvkonstruktionslösning samt grundläggningsform. Konstruktionens uppbyggnad är enligt tabell nedan.

Konstruktion	Objekt 3	Objekt 4
Golv	Ekiparkett	Ekiparkett
Stegljudsdämpare	Ja	Ja
PE-folie	Ja	Ja
Avjämning	Ja	Ja
Betong	Betong	Betong
Missfärgning	Ja	Nej
Hälsoproblem	Nej	Ja

Tabell 7.1-1. Golvkonstruktion för respektive objekt

7.1.1 Skador

Lägenheterna i objekt 3 och 4 har samma golvkonstruktion som nämns ovan. Trots detta är det bara lägenheter i objekt 3 som har drabbats av missfärgningar på ekiparkett. Missfärgningarna i dessa lägenheter uppstår i ändträ på parketten vid rörgenomföringar för värmerör i golvet.

Ammoniakkoncentrationerna som uppmäts intill missfärgningarna varierar i de olika lägenheterna. Som högst uppmäts 10ppm men vissa lägenheter påvisar betydligt lägre halter runt 1-2ppm. Detta kan jämföras med halten 5ppm som eftersträvdades efter sanering av betongytor som haft problem med kaseinhaltigt flytspackel. Trots att vissa av lägenheterna har ammoniakhalter under tröskelvärde för missfärgning så har skadan uppstått. Detta beror på att ammoniakhalten i dessa

bostäder har varit betydligt högre i ett tidigare skede då den kemiska reaktionen som leder till missfärgning av ekparketten har inträffat.

I objekt 4 uppmäter man ammoniaknivåer på 5ppm under stegljudsdämparen. Att golvet i detta objekt inte missfärgats av ammoniaken beror på att denna inte har kommit i kontakt med själva eken vilket även kan konstateras i lägenheterna i objekt 3 då missfärgningar enbart uppstått vid rör genomföringar.

Vid konstruktionsingrepp i betongplattorna påträffas i vissa fall betydligt högre halter av ammoniak än under stegljudsdämpare och rör genomföringar.

7.1.2 Besiktning

I samtliga lägenheter i objekt 3 uppfattas en lukt med kemisk karaktär liknande lukten av cementbaserat spackel med ett inslag av torkad fisk. Lukterna varierar som tidigare har nämnts från noterbar avvikande till tydligt avvikande lukt. Lukterna är som starkast intill rör genomföringar och vid konstruktions ingrepp i golvkonstruktionen blir lukten mer påtaglig under avjämningen. Vid uttagning av betongprover intensifieras lukterna än mer. Även i objekt 4 har man denna problembild men tillskillnad från objekt 3 så noteras lukten inte i rumsluften. Istället noteras denna under parketten på ovansidan av stegljudsdämparen. Lukterna beskrivs här dessutom som en kemisk, rå, unken lukt som påminner om lukten av kaseinhaltigt flytspackel.

Inga onormala fuktnivåer påvisas i någon av betongplattorna, inte heller någon omfattande mikrobiell påväxt förutom i en lägenhet i objekt 3. Denna lägenhet hade sparsamt med sporer och hyffragment under stegljudsdämparen men detta är inte tillräckligt för att föranleda ett problem med avvikande lukter.

7.1.3 VOC och TVOC

Analysen av VOC i rumsluft samt riktat mot golvytorna ger en generell bild av flyktiga organiska substanser som påträffas i objekten. Bostäder där boende upplever sjukhus-symptom har ofta höga halter av olika organiska ämnen i inomhusluften. Normalt uppmätts halter av TVOC (Total volatile organic compounds) i inomhusluft i intervallet 30-200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Enligt Järnström mfl. Varierar TVOC mellan 297-1098 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ före inflyttning i nyproducerade bostäder. Sex månader efter inflyttning bör TVOC-halten inte överstiga 400 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Vid riktad mätning mot frilagd avjämningen i objekt 3 är ämnesprofilen för TVOC avvikande i samtliga bostäder. Lägsta uppmätta TVOC riktat mot avjämningen låg på 854 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ medan det högsta värdet av TVOC uppmättes till 7600 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. TVOC -halterna i inomhusluften var dock som högst 340 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Dock kan inte dessa koncentrationer betraktas som höga på grund av att objektet var relativt nyproducerat vid mätningstillfället. Däremot så överstiger den ena lägenhetens emissionsfaktor referensvärde från Bornehag(1994) för ämnet 1-butanol. Huruvida detta ämne är skadligt för människor är dock inte fastställt. För objekt 4 är halten TVOC i rumsluften enbart 160 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ vilket är att betrakta som lågt enligt Järnström mfl. Trots detta så upplever brukarna i objekt 4 omfattande sjukhus-symptom tillskillnad från objekt 3 som har högre TVOC -halter.

Dominerande ämnen i dessa mätningar består av terpenener samt alifatiska kolväten. Terpenener emitterar naturligt från träprodukter i byggnadskonstruktioner och inredning. Alifatiska kolväten är vanligt förekommande som lösningsmedel och ingår exempelvis i limmer, lacker samt färger mm.

7.1.4 Jämviktskoncentration av ammoniak

Jämviktsmätningar för ammoniak redovisas i diagrammen nedan. Ammoniakkoncentrationerna i betongsnitten följer fuktnivån på korrelerande djup. Detta medför alltså att ammoniakhalten ökar med djup och relativ fuktighet i plattorna. Mät punkt 1.1 är tagen nära ytterväggen i aktuell lägenhet (diagram 7.1-1). I dessa delar av plattorna förekommer normalt högre relativa fuktigheter under en längre tid p.g.a. plattförstyvningar som tar längre tid att torka ut vilket medför högre halter av ammoniak. Det första mätvärde i diagrammen motsvarar ammoniakkoncentrationen under avjämningen mot betongytan. Halterna som uppmättes på ovansidan av avjämningen är betydligt lägre vilket pekar på att avjämningen fungerar som ett lock som begränsar ammoniakemissionerna att nå ekparketten och missfärga denna. Vad som dock ej framgår av dessa mätvärden är ammoniakkoncentrationerna vid rörgenomföringar där ekparketten har missfärgats. Halterna som mäts upp vid rörgenomföringar ligger över 5ppm. Anledningen till detta är att avjämningen samt tätskikt inte är tätt i dessa punkter. Detta stärker teorin om avjämningen som ett lock. Så länge avjämningen inte spricker kommer inte ekparketten att skadas i andra delar av golven.

Diagram 7.1-1 till och med -3 redovisar resultatet av jämviktsmätningar från bostäderna i objekt 3. För de radhus som infattades av den utökade undersökningen saknas jämviktskurvor för ammoniak och relativ fuktighet i plattorna. Anledningen till detta är att halterna som mättes upp under stegljudsdämparen enbart låg på 1ppm. Efter provtagning av betongen på 40-60mm djup påträffas som högst 2ppm vilket inte kan anses som ett problem. Vad som dock går att konstatera är att betydligt högre halter av ammoniak har funnits i betongen i dessa hus eftersom ekparketten var missfärgad.

Diagram 7.1-4 illustrerar jämviktsmätningar av ammoniak och relativ fuktighet för objekt 4. Ammoniakkoncentrationerna i detta objekt är betydligt högre i plattan än vad som är fallet för objekt 3. Inga missfärgningar av ekparketten har påträffats i detta objekt vilket beror på att ammoniaknivån på 5ppm uppmäts först under avjämningen.

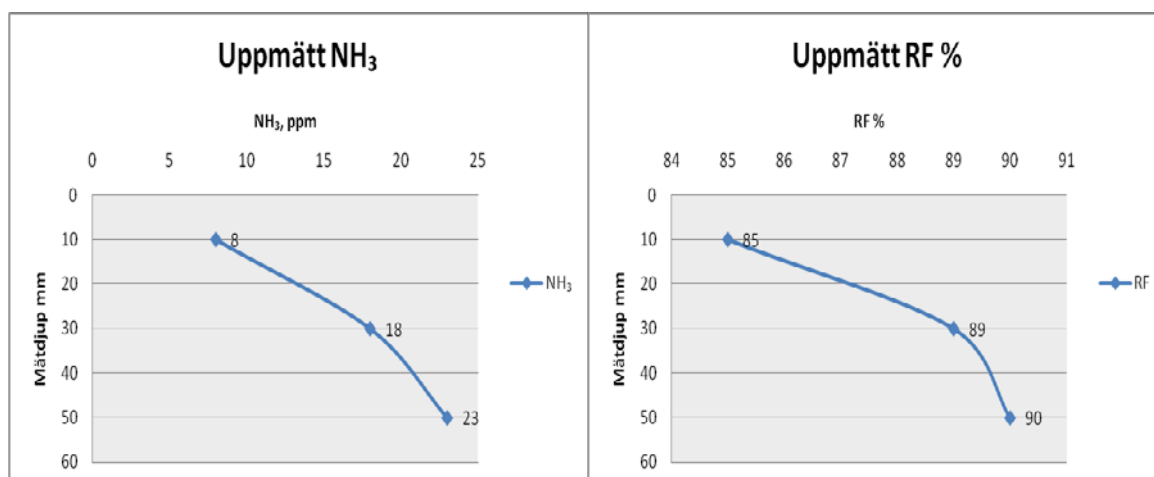
Objekt 3, Mät punkt P1.1

Diagram 7.1-1. Ovanstående diagram visar profiler över erhållna mätvärden för NH₃ respektive RF i P1, objekt 3. Blå linje mellan mätvärden visar förväntad nivå mellan mätvärdena om jämn fördelningen över tvärsnittet förutsätts.

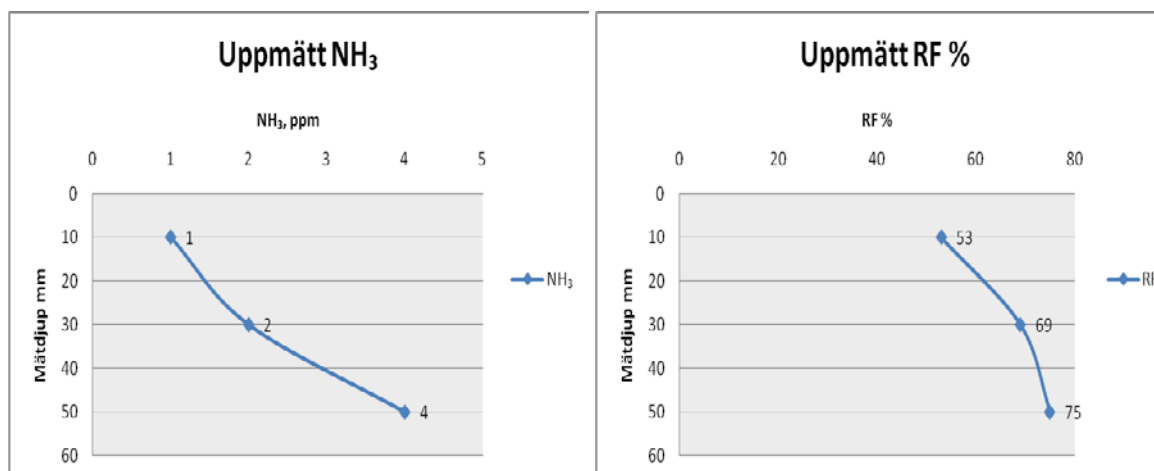
Objekt 3, Mät punkt P2.1

Diagram 7.1-2. Ovanstående diagram visar profiler över erhållna mätvärden för NH₃ respektive RF i P4, objekt 3. Streckad blå linje mellan mätvärden visar förväntad nivå mellan mätvärdena om jämn fördelningen över tvärsnittet förutsätts.

Objekt3, P2.2

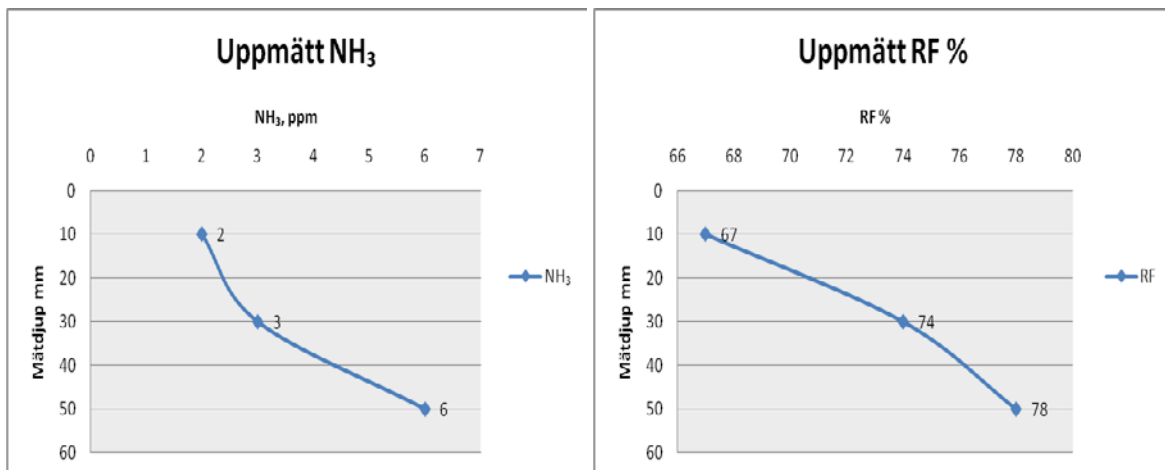


Diagram 7.1-3. Ovanstående diagram visar profiler över erhållna mätvärden för NH₃ respektive RF i P4, objekt 3. Streckad blå linje mellan mätvärden visar förväntad nivå mellan mätvärdena om jämn fördelningen över tvärsnittet förutsätts.

Objekt 4

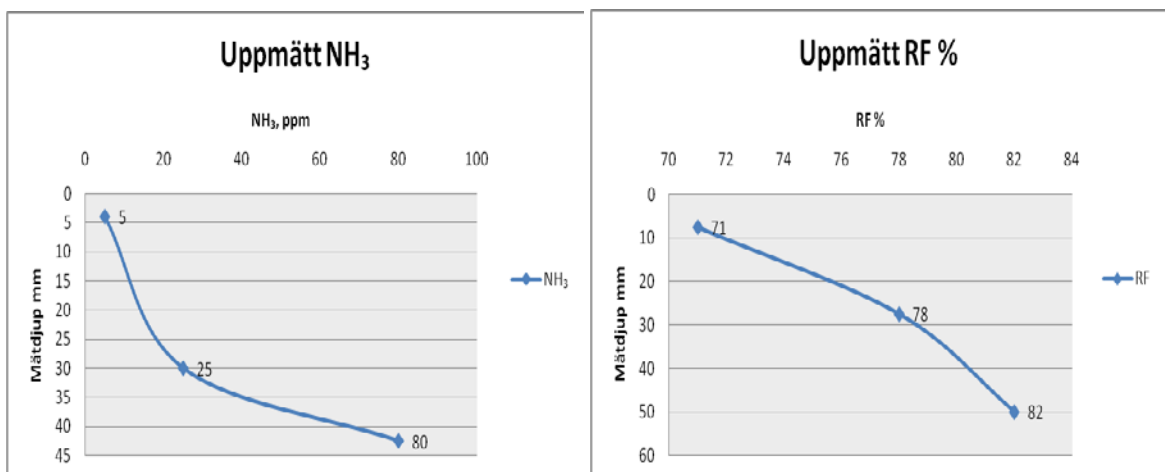


Diagram 7.1-4. Ovanstående diagram visar profiler över erhållna mätvärden för NH₃ respektive RF i P4, objekt 3. Streckad blå linje mellan mätvärden visar förväntad nivå mellan mätvärdena om jämn fördelningen över tvärsnittet förutsätts.

7.2 Ingen avjämning

Följande avsnitt hanterar betonggolv av platta på mark som inte har avjämnats med flytspackel. Avsnittet berör två stycken olika objekt som är utredda under 2007 samt 2008.

Objekt 5: Byggs under 2003, utredningen ägde rum 2007 objektet utgörs av en lägenhet beläggen i en närförort norr om Stockholm. I lägenheten har missfärgningar på ekparketten tidigare uppkommit. Golvbeläggningen byttes ut men missfärgningar återkom efter en tid.

Objekt 6: Större offentlig byggnad i norra Sverige. Byggnaden var ca fem år gammal vid tiden för utredning. Byggnaden har två våningar och de rapporterade problemen i form av inomhusmiljön uppges endast förekomma hos de lokalbrukare som verkar på bottenvåningen. Flera utredningar gjordes på byggnaden. Första utredningen begränsades till delar av byggnaden, senare utökades detta till att hela bottenvåningen utreddes.

Konstruktion	Objekt 5	objekt 6
Golv	Ekiparkett	PVC matta
Stegljudsdämpare	Ja	Nej
PE-folie	Ja	Nej
Avjämning	Nej	Nej
Betong	Betong	Betong
Missfärgning	Ja	Nej
Hälsoproblem	Nej	Ja

Tabell 7.2-1. Golvkonstruktioner för respektive objekt.

PVC mattan i objekt 6 är till större delen löslagd PVC matta. På vissa delar i byggnaden har mattan varit limmad.

7.2.1 Skador

Skadorna som uppkommit är som tidigare nämnts missfärgning av ekparketten i objekt 5. De boende upplever inga hälsobesvär eller avvikande lukter. Den halt(5 ppm) ammoniak som eftersträvades vid sanering av kaseinhaltigt flytspackel uppmättes på flera platser i denna lägenhet. Missfärgningarna uppkommer på de platser av parketten där det finns obehandlat trä d.v.s. i ändträ och rör genomföringar.

Skadorna i objekt 6 var uppvisade hälsobesvär hos lokalbrukarna. Det fanns inga synliga skador på golvbeläggning. Skador på PVC mattor i form av blåsbildning var vanligt i de fall med kaseinhaltigt flytspackel.

7.2.2 Besiktning

Vid besiktning av objekt 5 togs ett hål upp i parketten på ett flertal platser i lägenheten. En svagt avvikande lukt kunde noteras på undersidan stegljudsdämparen samt översidan av betongen. Lukterna beskrivs som rå unken lukt av betong/golvspackel.

När ammoniakhalten kontrollerades detekterades som högst 23ppm. Fuktindikering mot plattan visade inte på några onormala fuktnivåer. Någon mikrobiell tillväxt kunde inte heller påvisas, vilket skulle kunna ge upphov till avvikande lukter.

Vid första undersökningen av objekt 6 kunde en avvikande lukt noteras i samtliga upptagna håll i golvbeläggningen. I det rummet där ingen lukt noterades var mattan limmad mot betongplattan. Vidare noterades ingen påverkan på limmet och limfogen bedömdes vara intakt. I aktuellt provhåll detekterades 2 ppm ammoniak. I de övriga provhållen noterades en svagt till klart avvikande lukt av kemisk karaktär. På dessa platser uppgick ammoniakhalten under mattan till 7-27 ppm. Vid den utökade undersökningen uppmärksammades även förhöjda halter av ammoniak på platser där limmad matta förekom. De prover som är tagna nära yttervägg och plattförstyvningen detekterades högre halter ammoniak. På dessa platser har det varit fuktigare under en längre tid p.g.a. mer tillgång till betong.

7.2.3 VOC och TVOC

Boende i lägenheten med uppvisade missfärgningar har inga rapporterade hälsobesvär. Koncentrationen av VOC i rumluften visade efter analyser ligga på 120 µg/m³. Vilket kan anses som medelnivå. Vanligtvis i bostäder mäts halter mellan 30-200 µg/m³. De emitterande ämnena som påträffas i analyserna uppvisar en normal ämnesprofil.

Provplats	Ämnesprofil	TVOC
Objekt 5	Normal	Medel

Tabell 7.2-2

Under utredning genomfördes även riktade VOC- mätningar. Resultatet av dessa mätningar anger emissionsfaktorn(EF). Vilket anger hur mycket som avges per ytenhet och tidsenhet från betongytan. Resultatet av denna mätning (tabell 7.2-2) kan i jämförelse med studier av Bornehag(1994) konstateras vara lägre än de värden som uppmättes(tabell 7.2-3) från de lägenheter som upplevde inomhusproblem p.g.a. kaseinhaltigt flytspackel.

Ämne	EF(µg/m ² h)
TVOC	50

Tabell 7.2-3. Emissionsfaktor objekt 5

Ämne	EF, spackelyta, kaseinspackel	EF, kaseinfritt spackel
	Dokumenterade hälsoproblem	Inga hälsoproblem
	$\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$	$\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$
Total EF/TVOC	1155	87
2-etyl-1-hexanol	841	9
1-butanol	107	46

Tabell 7.2-4. Referensvärde C-G Bornehag 1994

På under och översidan av mattan i objekt 6 påträffades höga halter av VOC (Tabell 7.2-5). På undersidan av mattan detekterades $3800 \mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$. Vilket är tre gånger högre än det värde som Bornehag anger från lägenheter med kaseinhaltigt flytspackel (Tabell 7.2-4). Vid luktbedömning av mattan noterades även avvikande lukter främst från mattans undersida där högsta halterna upptäcktes. På mattans översida visade emissionsfaktorn uppgå till $1200 \mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$. De dominerande ämnena som identifierades i analysen utgörs av alkylerade bensener. Dessa ämnen anges härstamma från processlösningsmedel vid mattillverkningen.

Provtaget från mattans	EF ($\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$)	Dominerande ämnen, Alkylerade bensener
Översida	1200	1100
Undersida	3800	3400

Tabell 7.2-5. Detekterad emissionsfaktor från mattan i objekt 6

7.2.4 Ammoniak/amin - mätningar

Utöver jämviktsmätningar av ammoniak i betongbjälklaget i objekt 5 utfördes även mätningar av amin förekomster i betongen. Dessa mätningar ger möjlighet för identifiering av existerande aminer. Mätningarna utfördes mot frilagd betong direkt efter att golvbeläggningen och plastfolien rivits ut. Aminer kan förekomma som primära, sekundära eller tertiära aminer. Vid provtagningen användes två olika utrustningar. Vid mätningar av primära och sekundära aminer användes adsorbenten XAD-2 med NIT och för tertiära användes Tenax.

Resultatet av dessa mätningar visade att inga primära eller sekundära aminer förekom i betongen. Analyserna av tertiära aminer kunde påvisa att en tertiär amin förekom i betongen, 1,3-diazin dock i låga koncentrationer.

Indikering av ammoniak gjordes på tre olika punkter i objekt 5 resultatet redovisas i tabellen nedanför. Mätningarna är gjorda under stegljudsdämparen och PE-folien, vidare togs materialprover från två av dessa punkter (tabell 7.2-6).

Provpunkt	NH ₃ (ppm)
1	23
2	5
3	15

Tabell 7.2-6. Ammoniakindikering objekt 5

Efter att de uttagna proverna legat i jämvikt i 3 dagar i en glasbehållare utfördes jämviktsmätningar för att kontrollera koncentrationen av ammoniak genom betongprofilen. Mätningarna utfördes med reagensrör med skalan 2-30 ppm. Resultatet visar att ammoniak förekommer djupt ner i plattan. Vid jämförelse med relativa fuktigheten i betongen kan det konstateras att koncentrationen ökar med djupet och därmed den relativa fuktigheten (diagram 7.2-1).

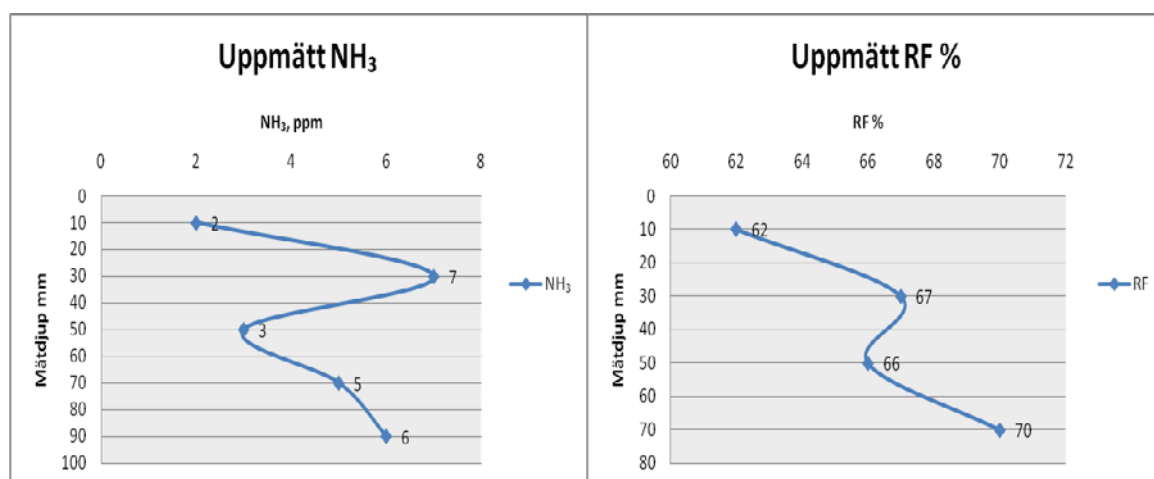


Diagram 7.2-1. Ovanstående diagram visar profiler över erhållna mätvärden för NH₃ respektive RF i mätpunkt P2. Blå linje mellan mätvärden visar förväntad nivå mellan mätvärdena om jämn fördelningen över tvärsnittet förutsätts.

I objekt 6 utfördes två undersökningar i den första upptäcktes förhöjda halter ammoniak i alla provpunkter utom ett (Tabell 7.2-7). Där utgjordes golvbeläggningen av limmad PVC matta. I de övriga rummen var mattan löslagd.

Under den första utredningen utfördes även mätningar på våningen ovanför. Vid dessa mätningar uppmärksammades inga förhöjda ammoniakhalter.

Provpunkt	Golvbeläggning	Resultat från ammoniakindikering(ppm)	Noterade lukter
PP1	Löslagd PVC-matta	26	Klart avvikande lukt, av kemisk karaktär
PP2	Löslagd PVC-matta	7	Klart avvikande lukt, av kemisk karaktär
PP3	Löslagd PVC-matta	20	Klart avvikande lukt, av kemisk karaktär
PP4	Limmad PVC-matta	2	Ingen avvikande lukt
PP5	Löslagd PVC-matta	21	Klart avvikande lukt, av kemisk karaktär
PP6	Löslagd PVC-matta	27	Klart avvikande lukt, av kemisk karaktär

Tabell 7.2-7. Resultat av första undersökningen i objekt 6

Vid en senare utökad undersökning gjordes indikationsmätningar på andra delar av byggnaden. Ammoniakhalter kunde konstateras på majoriteten av dessa mätningar. Provpunkterna var till stor del belägna nära yttervägg och plattförstyvningen. Det förekom högre ammoniakkoncentrationer på dessa platser jämfört med provpunkter längre in på plattan. Plattförstyvningen innehåller större mängd betong och har ett större fuktinnehåll.

8 Mätningar i laboratorium

8.1 Bakgrund

AK Konsult har tillsammans med en beställare från byggbranschen utfört egna undersökningar på provkonstruktioner av betong där malhjälpmedel har använts vid tillredningen av cementen. Undersökningen utfördes i laboriemiljö med start hösten 2008 och slut sommaren 2009. Sju stycken 150mm samt en 120mm betongplattor konstruerades med kvarsittande RF-givare. RF-givaren som användes var av fabrikat Humi-Guard, se kapitel 4 för beskrivning av instrument. Plattorna göts på en PE-folie i lastpallar med en pallkrage för att simulera ett bjälklag.

Där efter belagdes plattorna med PE-folie/stegljudsdämpare samt lös lagd ekparkett vid olika RF. Enligt HUS AMA gäller 95 % relativ fuktighet på ekvivalent mätdjup (kapitel 4) i en betongplatta med enkelsidig uttorkning för golvbeläggning med PE-folie och parkett. Golvbeläggningen såg ut så som bild 8.1-1 nedan redovisar dvs. löslagd ekparkett ovan på stegljudsdämpare och PE-folie.

Under undersökningsperioden har RF på ekvivalent mätdjup samt provtagning av ammoniak vid betongytan dokumenterats. Provtagningen av ammoniak har utförts med reagensrör typ Dräger 2/a 2-30ppm så som vid skadeutredningar. Vid provtagningen gjordes ett konstruktionsingrepp i parketten. Därefter stacks reagensröret in under PE-folien enligt anvisning för reagensrören. Efter ammoniakmätning lagades hålet i PE-folien med låtemitterande tätband av fabrikat platon. Efterföljande provtagningar i mätserien utfördes i samma hål.

Klimatet i provkammaren loggades kontinuerligt ansvarig från Betongindustri AB. I provkammaren eftersträvades under hela undersökningsperioden klimat motsvarande förhållanden på en byggarbetsplats.

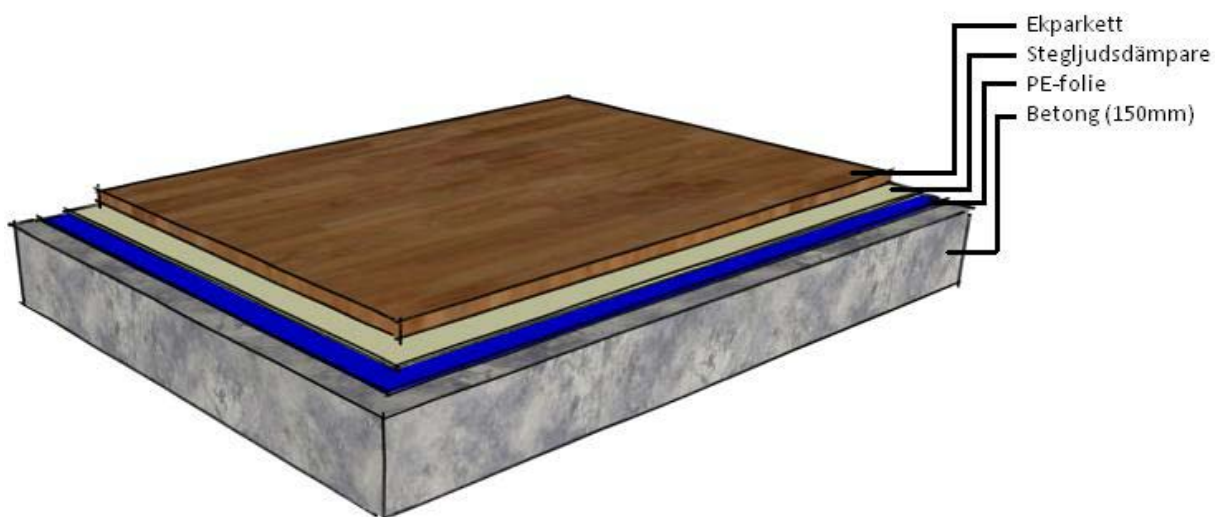


Bild 8.1-1. Golvkonstruktion på provkroppar.

Sammanställda mätresultat RF

Ålder dygn	Platta 1	Platta 2	Platta 3	Platta 4	Platta 5	Platta 6	Platta 7	Platta 8
9	96,2	96,1						
18	93,4	92,9						
25	90,2	88,6	90,4	89,5	90,4	90,6	90,6	88,5
37	90	88,3	89,7	88,7	90	89,6	89,6	87,1
44	90	88,2	89,7	88,5	89,9	89,4	89,1	87
56	90	87,7	89,8	87,9	89,9	88,8	87,7	84,6
71	89,3	87,2	89,8	87,7	89,8	88,6	86,6	84,6
85	89	87	89,6	87,7	89,7	88,4	86,3	84,3
113	88,3	86	89,3	86,9	89,3	87,4	85,3	84
141	87,5	85,7	88,7	86,8	88,9	87,2	85	83,8
169	87,1	85,5	88,3	86	88,2	86,6	85,1	84,1
225	85,9	84,4	88,1	85,9	87,9	86,3	84,8	83,3

Tabell 8.1-1. Grönmarkerade RF-värden motsvarar RF på ekvivalent mätdjup vid golvläggning. Värdena ska motsvara RF 95 %, 90 % samt 85 %. Mätosäkerhet 2,7 %.

Mätvärdena vid golvbeläggningen ska motsvara 95, 90 samt 85 % RF. I hälften av provkropparna har malhjälpmiddel används vid tillredningen av betongen (1,3,5,7). I övriga plattor har inget malhjälpmiddel nyttjats. I två av provkropparna har PE-folie/stegljudsdämparen avsiktligt monterats åt fel håll (5,6).

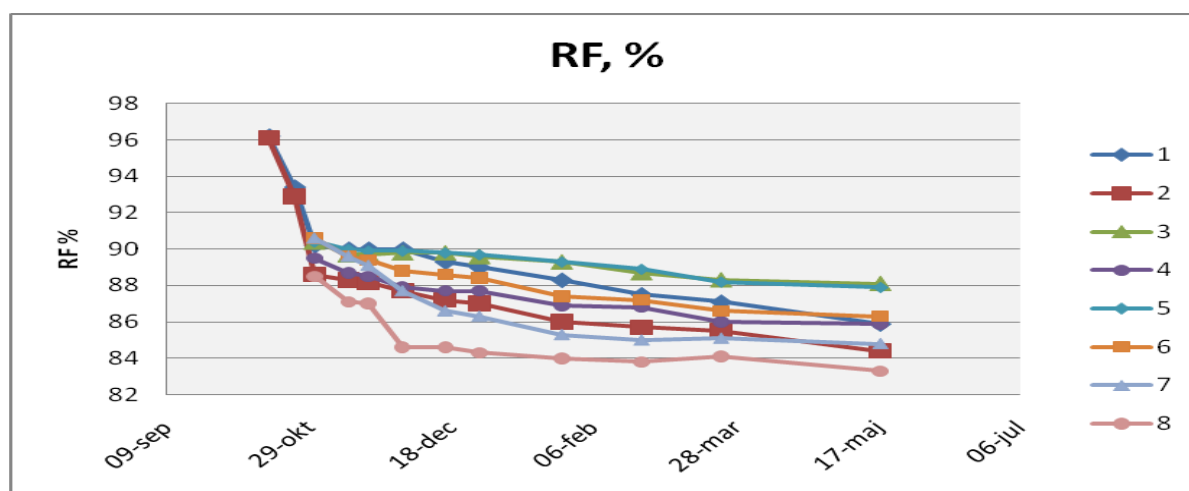


Diagram 8.1-1. Diagrammet visar provkropparnas uttorkning. Mätosäkerhet $\pm 2,7$ %.

Diagrammet ovan visar plattornas uttorkning under försöksperioden. Av mätresultaten framgår att provkropparnas uttorkningsförlopp har fortsatt normalt efter det att golven har monterats. Mätosäkerheten för erhållna fuktvärden är 2,7 %.

Efter undersökningsperiodens slut utfördes fördjupade undersökningar av platta 3 och 4. Undersökningarna av dessa två plattor följer senare.

Sammanställda mätresultat av NH₃

Mätning	1		2		3		4		Malmedel	Felmonterad
Platta	ppm	Dygn	Ppm	Dygn	Ppm	Dygn	ppm	Dygn		stegljudsdämpare
1	11,4-12,4	44	14,2	113	10,1	141	6,9	225	Ja	Nej
2	3,1-4,1	44	10,1	113	5,1	141	4,9	225	Nej	Nej
3	14,2	56	13,2	113	8,1	141	7,9	225	Ja	Nej
4	5,1	56	6,1	113	7,1	141	4,9	225	Nej	Nej
5	7,1	56	10,1	113	7,1	141	8,9 (9,9)	225	Ja	Ja
6	14,2	56	11,1	113	9,1	141	1,9 (4,9)	225	Nej	Ja
7	14,2	113	10,1	141			9,9	225	Ja	Nej
8	4,9	85	-5,1	113			3,9	225	Nej	Nej
			6,1	141						

Tabell 8.1-2. Uppmätt halt ammoniak under PE-folie/stegljudsdämpare efter antal x antal dygn från gjutningen.

Uppmätta ammoniakhalter under PE-folie/stegljudsdämparen för samtliga plattor är avvikande. Detta trots att hälften av plattorna inte innehåller något malhjälpmedel. Sambandet mellan ammoniakkoncentration och malhjälpmedel är dock entydigt. I de provkroppar som innehåller malhjälpmedel har de högsta koncentrationerna av ammoniak också uppmätts vid betongytorna. Ammoniakförekomsten i övriga plattor visar dock att malhjälpmedel ger förhöjda ammoniakhalter eftersom dessa provkroppar också innehåller avvikande mängder ammoniak.

Mätresultaten visar på att samtliga plattor har sådana koncentrationer att missfärgningar av ekparketten inte kan uteslutas under hela undersökningsperioden. Som tidigare nämnts så eftersträvades en ammoniaknivå på runt 5ppm efter sanering av betonggolv med problem med kaseinhaltigt flytspackel. På grund av att detta med bakgrund till att platta 2, 4, 6 och 8 inte innehåller något malhjälpmedel kan man konstatera att källan till ammoniaken finns med i betongen.

8.1.1 Fördjupade undersökningar

Efter undersökningsperiodens slut fattades en överenskommelse mellan AK Konsult och beställare om fördjupade undersökningar i två av de befintliga provkropparna. I provkropp 3 och 4 utredes fuktnivåer samt ammoniakförekomsten genom hela betongplattornas tvärsnitt. Båda plattorna hade belagts med golv vid 90 % RF på ekvivalent mätdjup i plattorna. Provkropp 3 innehöll malhjälpmedel medan provkropp 4 innehöll cement utan malhjälpmedel.

8.1.2 Genomförande

Uttagning av betongprov centralt i provplattorna borrades ut genom torrborrning med 90mm borrar. Anledningen till detta var att minimera randeffekter i form av uttorkning i sidled. I varje mätprofil borrades 7 stycken prover ut vardera 20mm tjocka. Proverna placerades i 250ml glasflaskor i direkt anslutning till provtagningen. Därefter har tillräckliga provmängder placerats i provrör för bestämning av fuktnivåer. Proverna har sedan jämviktat för bestämning av relativa fuktigheter på respektive nivå i betongtvärsnittet.

8.1.3 Mätresultat

Diagram 8.1-2 och -3 nedan illustrerar erhållna mätvärden av ammoniak samt relativ fuktighet genom provkropparnas tjocklek. Likt det skadeutredningar som AK Konsult har involverats i påträffas ammoniak genom hela betongplatoornas tvärsnitt.

Platta 3

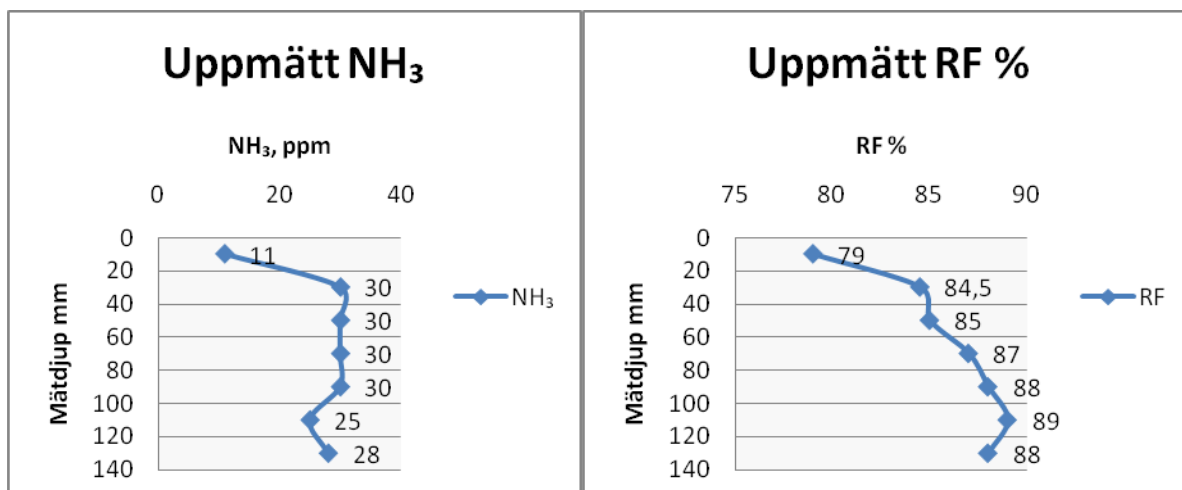


Diagram 8.1-2. Diagram visar profiler över erhållna mätvärden för NH₃ respektive RF i Platta 3. Streckad blå linje mellan mätvärden visar förväntad nivå mellan mätvärdena om jämn fördelningen över tvärsnittet förutsätts.

Platta 4

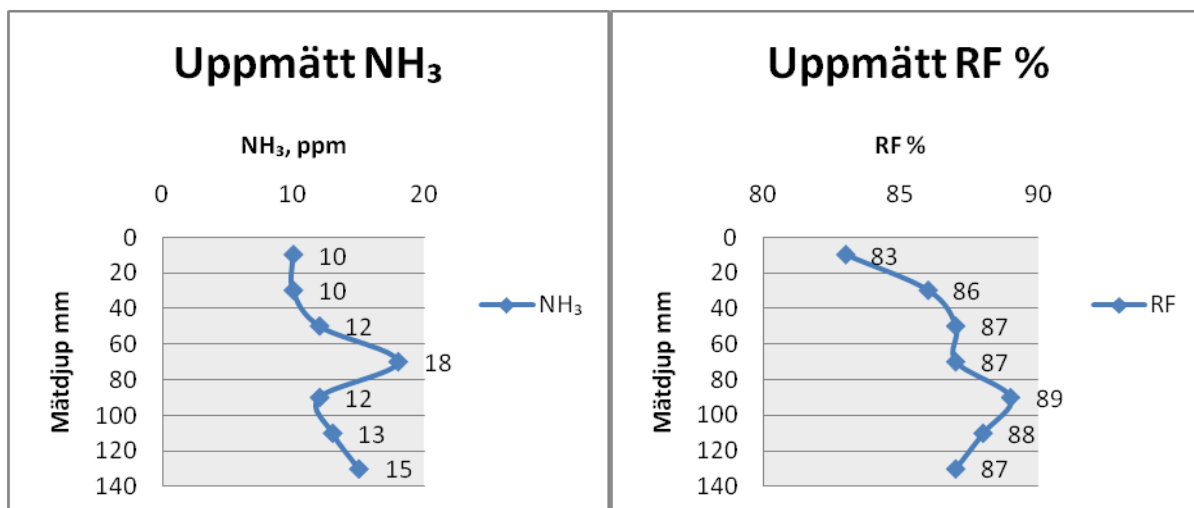


Diagram 8.1-3. Diagram visar profiler över erhållna mätvärden för NH₃ respektive RF i Platta 4. Streckad blå linje mellan mätvärden visar förväntad nivå mellan mätvärdena om jämn fördelningen över tvärsnittet förutsätts.

8.1.4 Resultat

Tydliga samband mellan ammoniakkoncentrationer och relativ fuktnivå kan identifieras vid studering av ovanstående diagram. Ammoniak påträffas genom hela betongplattornas tjocklek. Detta trots som tidigare nämnts att enbart platta 3 innehåller betong där malhjälpmedel nyttjats vid tillredningen av cementen. Ammoniakkoncentrationerna är betydligt högre i platta 3 än i platta 4. Tilläggas bör att ammoniakhalterna på 30ppm mellan nivåerna 30 och 90mm i platta 3 är underskattade.

Reagensröret av typen Dräger 2/a som användes vid mätningarna detekterar ammoniak mellan 2 och 30ppm. Att koncentrationerna av ammoniak i plattan inte varierar med RF i intervallet på 30 till 90mm djup beror på att reagensröret bottnade. Det är därför troligt att ammoniakkoncentrationerna i detta intervall är än högre än vad resultaten visar.

Ammoniakprofilen för platta 3 kan förväntas ha liknat den som uppmäts i provplatta 4 om mätningen hade utförts med Drägerpump 5/a med indikeringsintervall 5-70 eller 50-700ppm. Detta eftersom man kan uttyda ett tydligt samband mellan ammoniak och relativ fuktighet i platta 4.

Utöver dessa resultat så ser man att ammoniakhalten i platta 3 har en dramatisk skillnad i koncentration när fuktnivån understiger ca 85 % RF. Ammoniakhalten sjunker från 30 till 11 ppm när RF sjunker från ca 85 till 80 %. När RF sjunker till omkring 85 % i platta 4 så indikeras inte längre några skillnader i ammoniakkoncentration. Detta kan bero på att ammoniakproduktionen i plattorna begränsas av den relativa fuktigheten. Vid 85 % RF kan det vara så att de kemiska reaktionerna som bildar ammoniak i betongen avtar eller avstannar helt. Även transporten av ammoniak avtar. Detta på grund av att den kapillära transporten genom fuktfyllda porer i plattorna avtar och övergår mer och mer till ren diffusion.

9 Beräkningar

9.1 Introduktion

I de tidigare avsnitten 7 och 8 kan det konstateras att ammoniakkoncentrationen i bjälklaget har ett klart samband med rådande RF fördelning. Under gjutningen av betong upplevs ofta att det luktar ammoniak, dessa lukter klingar dock snabbt av. Att det sedan har påvisats ammoniak under golvbeläggningen och med en ökande koncentration med djupet tyder detta på att transporten av ammoniak har återupptagits efter att golvbeläggningen applicerats. Som tidigare nämnts i avsnitt 5.4 sker en omfördelningen av fukten efter golvbeläggningen. Vilket åter öppnar upp för vätsketransport från plattans djupare delar, där fukttinnehållet varit högre under en längre tid och därmed haft längre tid till ammoniakproduktion.

I projektet har för visualisera omfördelningen utfört beräkningar på fingerade betongbjälklag. De konstruktioner som har studerats närmare är platta på mark, mellanbjälklag och plattbärlag. Beräkningarna har utförts med hjälp av datorberäkningsprogrammen TorkaS och KFX. Under uttorkningen av betongen transporteras fukten genom diffusions- och kapillärtransport. Den första delen av uttorkningen sker fukttransporten i vätskefas kapillärt i materialets porer. Allt eftersom porerna i betongen torkar ut övergår transporten till att ske i ångfas via diffusion. Det finns ingen fastställd RF nivå när detta sker, antagligen pågår transporten i en kombination av dessa två transportsätt.

Datorberäkningsprogrammet Torka S har använts för att beräkna uttorkningen till 95 % RF på ekvivalent mätdjup för normal husbyggnadsbetong ($v_{ct} \approx 0.7$), och till 85 % RF på ekvivalent mätdjup för byggfuktfri betong ($v_{ct} = 0.4$). Genom dessa beräkningar har RF fördelningen genom betongprofilen tagits fram och dessa värden har sedan använts för fortsatta beräkningar i beräkningsprogrammet KFX. Med KFX beräknades omfördelningen av fukten i betongen med den inledande fukthalten som beräknats från TorkaS.

9.2 Beräkningar

Beräkningarna har utförts på olika bjälklagstyper för att kontrollera skillnaderna för omfördelningen och uttorkningsförloppet. Det uttorkningsklimat som användes antagits till konstant temperatur och RF förhållanden. I tabell 9.1-1 redovisas samtliga ingångsvärden som användes för TorkaS

Bjälklagstyp	Tjocklek på betongplattan	Vct	RF på ekvivalent djup vid golvläggning	Uttorkningsklimat innan golvläggning
Platta på mark	150 mm	0.66	95%	20°C, RF 40%
		0.4	85%	
Konventionellt mellanbjälklag	250mm	0.66	95%	20°C, RF 40%
		0.4	85%	
Plattbärlag	200mm	0.4	85%	20°C, RF 40%

Tabell 9.1-1. Ingångsvärden för beräkningar i TorkaS.

Framtagen fuktfördelning i betongbjälklagen har använts som initial fukthalt vid beräkningar i KFX. Beräkningsvärden för omfördelningen redovisas i bilaga 2.

9.2.1 Betong

Vid beräkningarna har betongens materialegenskaper tagits ifrån Sjöberg(2003).

9.2.2 Resultat

Nedanför redovisas resultatet av beräkningarna gjorda på platta på mark(diagram 9.1-1 och 9.1-2), mellanbjälklag (diagram 9.1-3 och 9.1-4) samt plattbärlag(diagram 9.1-5). De övre diagrammen för respektive bjälklagstyp visar omfördelningen av fukten vid golvläggning då bjälklaget torkat till 95 % RF(vct= 0.66) på ekvivalent djup. Vidare visar de undre diagrammen för respektive bjälklagstyp omfördelningen efter golvläggningen. Uttorkningen innan golvläggning har tagits fram genom TorkaS dessa värden har använts i KFX för vidare beräkning av omfördelningen efter 30,100 respektive 200 dygn.

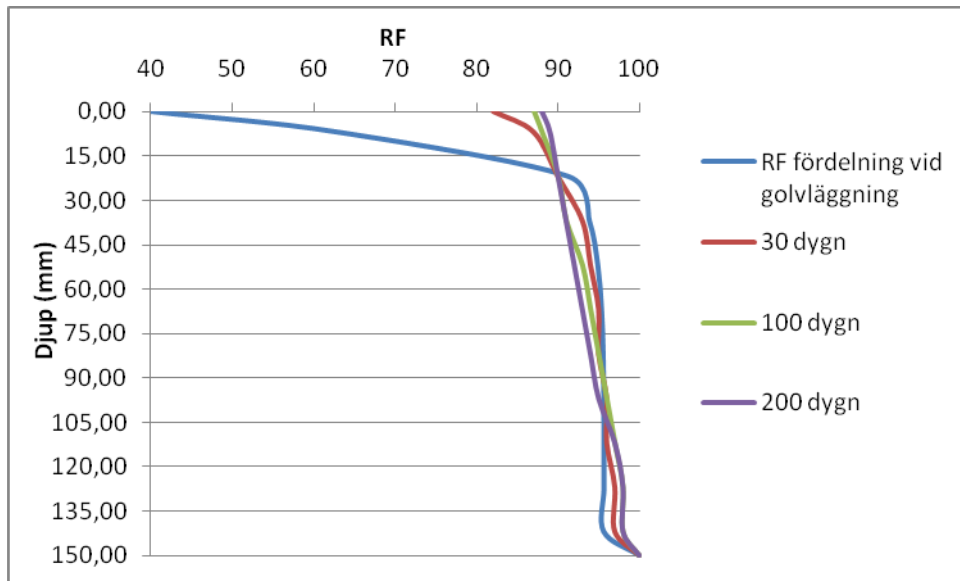
Platta på mark**Vct 0.66**

Diagram 9.1-1. Ovanstående diagram visar fuktens omfördelning i 150 mm tjock platta vct 0.66. Blå linje visar uttorkningen till 95% RF på ekvivalent djup.

Vct 0.40

Diagram 9.1-2 visar omfördelningen genom tvärsnittet av en 150 tjock platta. Fuktinnehållet på djupet $0,4 \cdot H$ (50 mm i diagrammet) uppgår till 85 % RF.

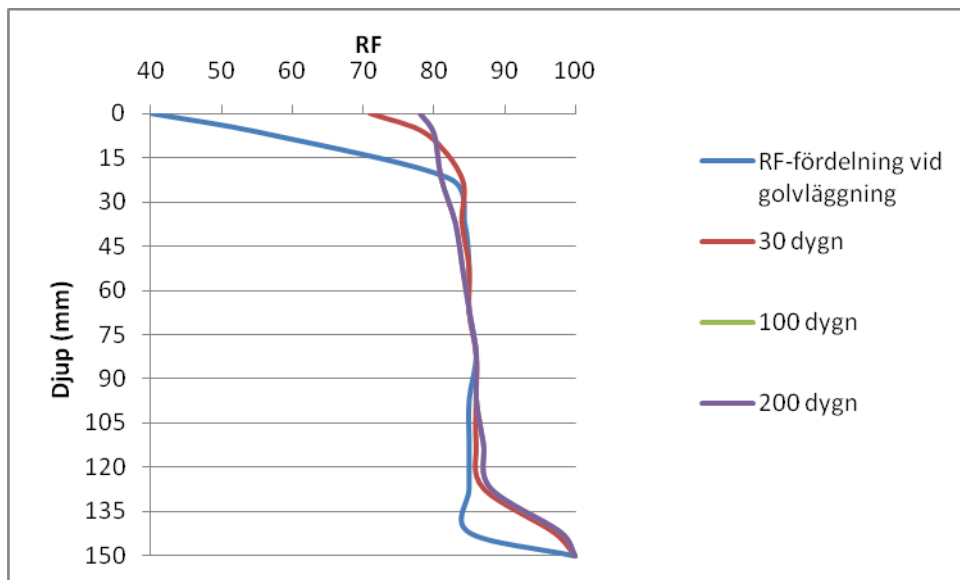


Diagram 9.1-2. Ovanstående diagram visar fuktens omfördelning i 150 mm tjock platta vct 0.40. Blå linje visar uttorkningen till 85% RF på ekvivalent djup.

Mellanbjälklag

Omfördelning för mellanbjälklag med tjockleken 250mm. Fuktnivån på 60mm

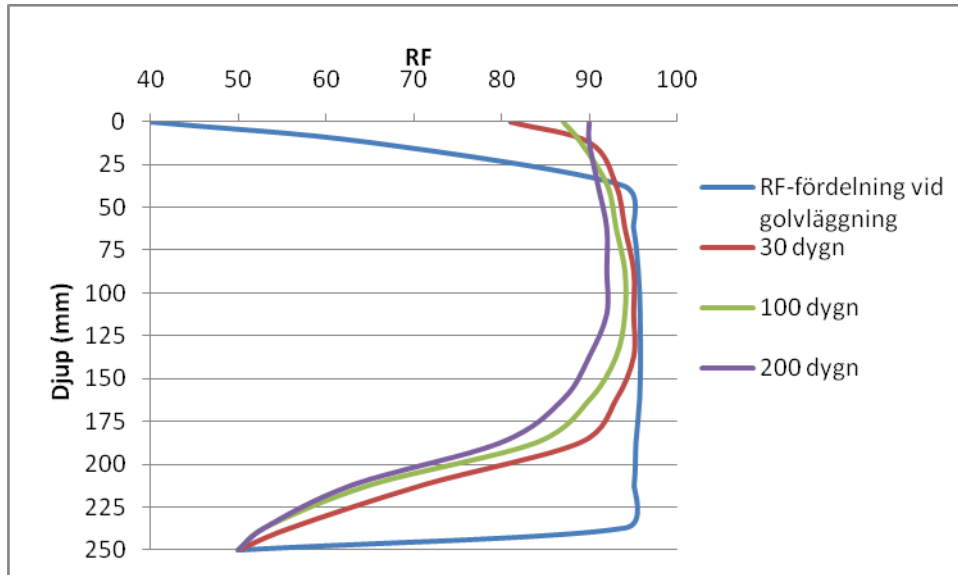
Vct 0.66

Diagram 9.1-3. Ovanstående diagram visar fuktens omfördelning i ett 250 mm tjockt mellanbjälklag vct 0.66. Blå linje visar uttorkningen till 95% RF på ekvivalent djup.

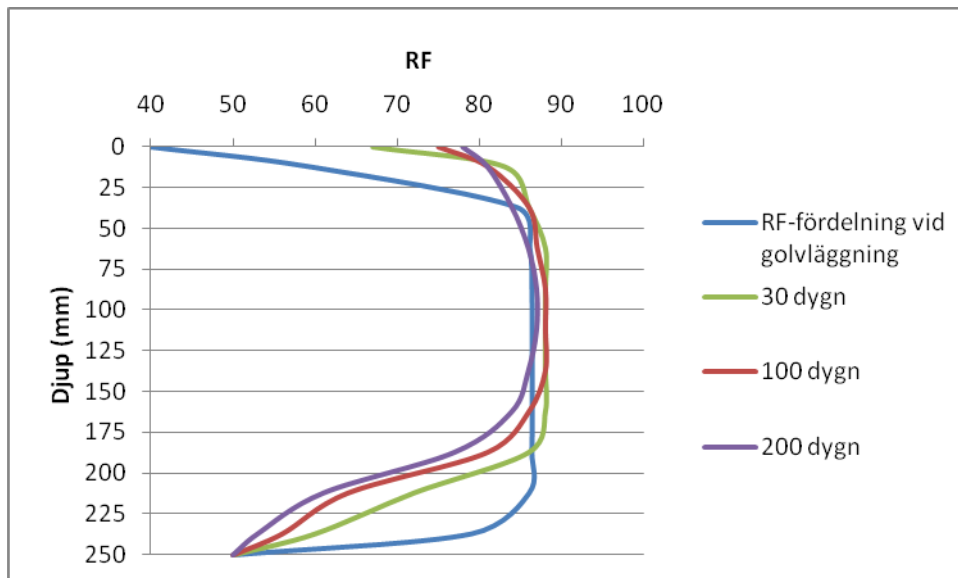
Vct 0.4

Diagram 9.1-4. Ovanstående diagram visar fuktens omfördelning i ett 250 mm tjockt mellanbjälklag vct 0.4. Blå linje visar uttorkningen till 85% RF på ekvivalent djup.

Plattbärlag

Omfördelning för mellanbjälklag med tjockleken 250mm. Fuktnivån på 60mm

Vct 0.4

Diagram 9.15. Ovanstående diagram visar fuktens omfördelning i ett 200 mm tjockt plattbärlag vct 0.4. Blå linje visar uttorkningen li 85% RF på ekvivalent djup.

10 Diskussion

10.2 Cementproduktionen

Ingående delmaterial i cement innehåller reagerbart kväve. Det som tycks ha ändrats de senare åren är användandet av REA - gips, masugnslagg och kalksten. Kväveinnehållet i REA-gipset har inte blivit undersökt. Naturgips däremot sägs av Hjellström innehålla mindre mängder kväve. REA-gipset som idag används är som tidigare nämnt en restprodukt vid rökgasrening i Slite fabriken SNCR-system. Således kan det eventuellt innehålla ammoniak. Gipset innehåller säkerligen även kväve som mäts upp i kalksten.

Den kalksten samt slagg som mals tillsammans med klinker i cementkvarnen innehåller även kväve. Enligt Hjellströms mätningar är det dessa två material som innehåller störst mängd i mg/kg. Störst är innehållet i slaggen. Bidraget till cementen är dock litet. Störst bidrag till den färdiga cementen har kalkstenen samt klinker. Kalkstenen bidrag är ca 1/3 av det som genereras av klinkern. Kväveinnehållet i klinker och kalksten tror inte vi har ändrats på senare år. Slagg däremot sägs användas mer och mer. På senare år har slaggen börjat ersätta kalkstenen vilket troligtvis har ökat kväveinnehållet i cementen.

Med bakgrund till detta kan det vara så att det kväve som reagerar i cement och bildar ammoniak kan härledas från masugnslagg och REA - gips. Detta även fast kalksten och klinker bidrar med största delen av kväve. Under de senaste fyra åren har problemet med ammoniak i betong uppmärksamats. Om det skulle vara klinker och kalksten som är anledningen till att det bildas ammoniak i betong som missfärgar ekparkett borde kanske problemet ha upptäckts tidigare. Kanske är det så att kväve från dessa bildar mindre mängder ammoniak och därför inte har uppmärksamats. Eller så kan det vara så att kväveföreningarna i dessa är stabila och helt enkelt inte reagerar och bildar dessa emissioner.

Som tidigare är känt från AK Konsults egna undersökningar så ger aminbaserade malhjälpmiddel i cement förhöjda ammoniakhalter i betong. Detta visar även Hjellström med sin avhandling. Cementa uppger i dag att aminbaserade malhjälpmiddel inte längre används. Enligt cementas tillståndsprövning hos miljö och hälsoskyddsnämnden från 2006 redovisas att ett malhjälpmiddel av avfall från organisk industri i mängderna 700 ton per år används. Vilka organiska avfall det rör sig framgår dock inte. Dessa avser produktionen från 2006 några andra uppgifter har vi inte lyckats lokalisera.

Efter samtal med Tina Hjellström framgår det att ett glykolbaserat malhjälpmiddel från Sika används i cementkvarnarna för tillfället. Om detta stämmer kan malhjälpmiddel räknas bort som en orsak till kvävetillförsel till cementen. Vad som dock inte framgår är vad detta malhjälpmiddel kan ha för inverkan på de kemiska reaktioner som bildar ammoniak eller aminer i cement. Eventuellt kan detta påverka ammoniakemissionerna i cementet trots att de inte innebär någon extra tillförsel av kväve. Om medlet triggar kemiska reaktioner med annars stabila kväveföreningar kan detta leda till förhöjda halter av ammoniak. Kväveinnehållet i klinker och kalksten är i så fall åter relevant.

Flygaska redovisas som ett tillsatsmaterial i Cementas cement under åren 2006 och 2007. Inblandningen av denna i dagens cement sägs inte förekomma. Efter kontakt med Cementas

miljöavdelning HC miljö uppges det att flygaska kommer att bli en del av svensk standard cement inom en snar framtid. Incitamentet är stort. Askan ersätter en del av cementen, man sänker koldioxidutsläppen samt blir av med en restprodukt som normalt läggs på deponi. Hur klokt detta är med hänsyn till att det redan finns ammoniak i Slites cement kan man dock ifrågasätta. Detta eftersom att det redan är känt att flygaska kan innehålla ammoniak som i ett senare skede kan leda till missfärgningar av ekparkettgolv.

10.3 Betongtillverkning

Precis som inom cementtillverkningen finns det inslag av olika kväveföreningar som kan medföra risker med ammoniak och aminer. Som nämnts i kapitel 3 innehåller en del tillsatsmedel aminer som skulle kunna reagera kemiskt i betongen. Dessa medel används dock mindre och mindre då det i vissa fall till och med anses vara föråldrat. Problemet med ammoniak ses som relativt nytt sedan problemen på 70- och 80-talet. Efter denna tid fram till nu är det rimligt att de aminbaserade tillsatsmedlen ingick i betongkonstruktioner men att de kanske inte bildade ammoniak. Detta grundat på att det under de senaste 3-4 åren som ammoniaken har påträffats likväl som missfärgningar.

Sprängämnesrester från krossballast samt eventuellt användande av flygaska är något som under de senare åren har blivit mer intressant för betongtillverkarna. Om det inte är så som Arne Hellström med flera påstår att kväveresterna som härstammar från sprängämnena kapslas in av betongens bindemedel så kan det leda till att det bildas ammoniak i betongen. Vidare kan det vara så att mängderna sprängmedel som används vid brytning variera och det i vissa fall leder till mer reagerbart kväve i ballasten. Detta skulle kunna förklara den variation som förekommer i skadebilden. Det vill säga att problemen inte uppstår i alla nya hus.

Flygaska som fillermaterial i betong är som tidigare nämnt redan konstaterad som en källa till ammoniak i betong i Danmark. Om flygaska används i den svenska betongen är det troligtvis en riskfaktor även här. Hur utbrett användandet är vet vi dock inte. Att betong innehållande krossballast däremot behöver kompletteras med mindre fraktioner för att få en bättre graderad skikturva vet vi. Samt att det finns både kostnads och miljö incitament för tillverkarna att använda askan.

Det kan vara så att det ibland förekommer som fillermaterial av vissa tillverkare. Detta skulle då leda till en varierande skadebild precis som antagandet kring krossballast.

10.4 Utredningar

Utförda jämviktsmätningar av ammoniak visar tydligt att koncentrationen ökar med djupet och följer den relativa fuktigheten i plattan. Detta tyder på att fukten spelar en stor roll för förekomsten av ammoniak.

I det fall ammoniakkoncentrationerna har varit över 5ppm vid golvytan har ekparkettgolv missfärgats. I de fall där golvbeläggningen har utgjorts av annat material än ekparkett har tillräckliga koncentrationer för missfärgningar påträffats. Ammoniaken deponeras oftast under stegljudsdämpare/PE-folie eller under avjämning om denna finns. I de objekt som har missfärgningar på ekparketten har ammoniaken eller aminerna tagit sig igenom otätheter i tätskiktet eller via

rör genomföringar genom avjämningen. Till skillnad från åren 1977-1983 verkar avjämningen positivt på ammoniakemissionerna.

I mellanbjälklaget i objekt 1 uppkom problemen efter att betongen blivit återuppfuktad på grund av ett vattenläckage. I detta objekt påvisades även de högsta koncentrationerna (60 ppm) under PE-folien. Även objekt 2 har återuppfuktats efter sanering av ammoniak. Detta på grund av att man bilade bort avjämningen på det skadade bjälklaget och ersatta denna med en ny. Avjämningen tillförde då fukt till betongen varefter ammoniakhalterna blev än högre än innan åtgärden. Detta på grund av att man återstartade fukttransporten i betongens kapillärporer från plattans djupare delar.

Ammoniak har även påträffats i "friska" lägenheter. I referenslägenheten i objekt 2 hade inga skador rapporterats vilket troligen berodde på att bjälklaget var betydligt torrare vid golvläggningen än i den skadade lägenheten.

I objekt 3 var plattan i vissa provpunkter avsevärt torrare än de övriga plattorna. I de flesta mätningar påträffas inte tillräckliga halter för missfärgning ska kunna ske på ekparketten. Att parketten ändå är missfärgad tyder på att ammoniakkoncentrationerna har varit betydligt högre liksom fuktinnehållet i plattorna.

Studerat förhållandet mellan RF och ammoniak ser man ofta att det sker en förändring av koncentrationerna vid omkring 80-90 % RF (diagram 10.1-1). Vidare i diagram 10.1-2 kan man antyda att avklingningen jämnar ut sig när man går under 80 % RF. Troligtvis har kapillärtransporten mer eller mindre upphört vid dessa fuktnivåer och transporten via diffusion sker mycket långsamt.

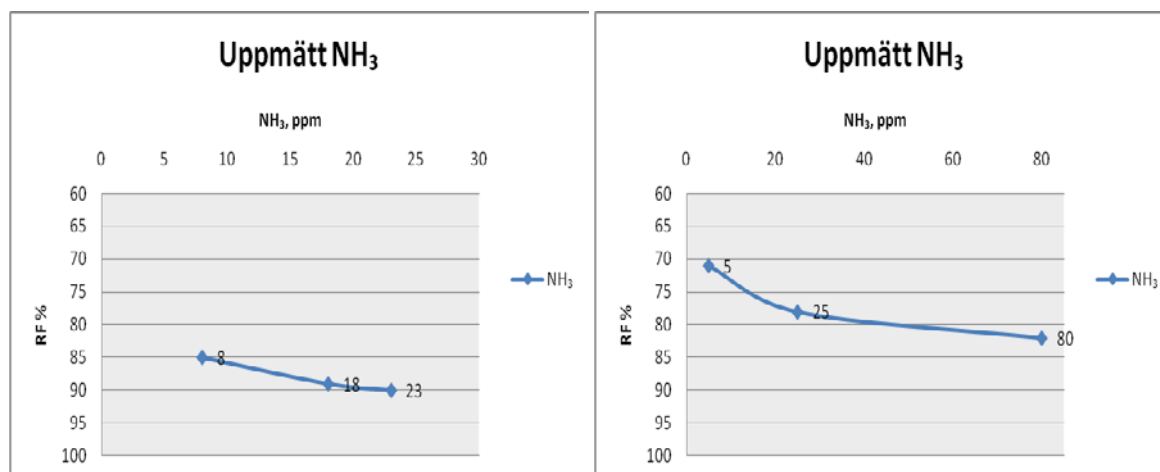


Diagram 10.1-1 Diagrammen visar förhållandet mellan NH₃ och RF samt NH₃profilen genom betongprofilen i objekt 4.

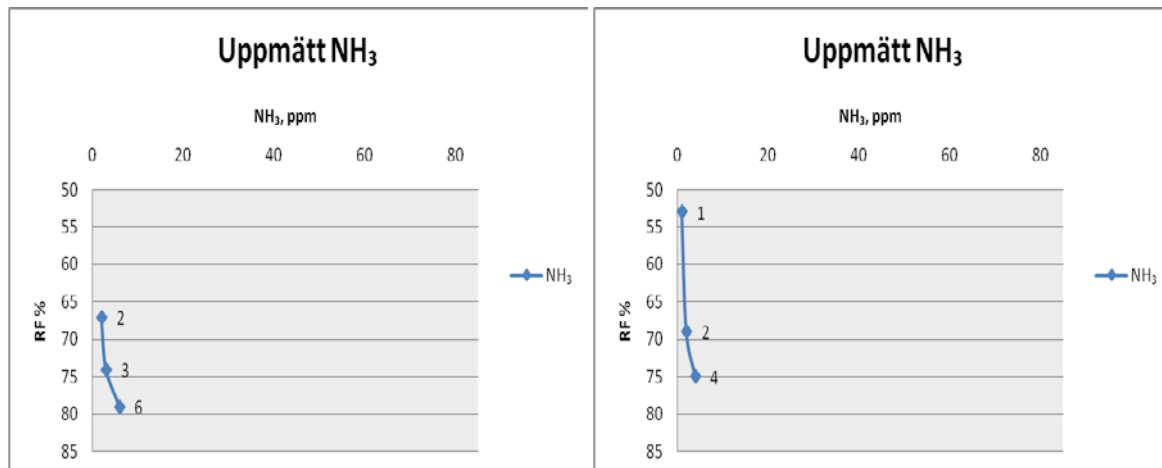


Diagram 10.1-2 Diagramen visar förhållandet mellan NH₃ och RF samt NH₃ profilen genom betongprofilen i objekt 3.

Genom de VOC mätningar som genomförts kan det konstateras i en del utredningar att nedbrytning av material har skett. Nedbrytningen har föräntlets av att alkalisk fukt kommit i kontakt med känsliga material. Genom att detta har skett kan man konstatera att materialet har varit utsatt för fukt och alkali (Sjöberg, 1998).

Vilken direkt orsak som legat bakom de avvikande lukterna och hälsobesvärerna kan inte besvaras med dagens kunskap. Ammoniak anses dock förekomma i för låga halter för att föränta obehagen.

Det symptom som rapporteras av brukarna i skadade lägenheter kan bero på överkänslighet. Med överkänslighet menas personer som reagerar med allergi- eller slemhinnesymptom som inte kan härledas till exempelvis förkylning. Dessa personer kan reagera på damm, lukter, rök mm. Kemiska ämnen från betongen kan mycket väl innefattas här också. Koncentrationer av ammoniak, aminer TVOC mm kan tryckas ut via otätheter i stegljudsdämparen/PE-folien när man går på golvet. Även en dammsugare skulle kunna dra upp och blåsa ut dessa ämnen till rumsluften. Hur länge dessa sedan skulle uppehållas luften vet vi inte. Det kan även vara så att det "fastnar" på partiklar i rumsluften och avsätts i damm på horisontella ytor och därför inte påvisas vid provtagningar av rumsluften.

Ammoniakhalterna som mäts upp tycks vara så pass låga att sjukhus-symptom därför inte är rimliga på grund av dessa. Även aminer kan bilda anjoner till pyrogallo som är en del av huvudföreningen i garvsyra som i sin tur bildar långa kedjor av kolföreningar som missfärgar ekparkett. Vidare undersökningar av förekomsten av aminer kan därför vara av betydelse. Aminer är i låga halter mycket irritativa. Reagensrören av typ Dräger som används vid utredningar och undersökningar sägs reagera på både ammoniak och aminer. Eventuellt kan det vara så att de i vissa fall är aminer som påträffas och det av denna anledning som människor mår dåligt.

10.5 Undersökning i laboratorium

En sammanställning av uttorkningsförlopp med mätvärden korrigerade med hänsyn till mätosäkerheten illustras i diagram 10.1-3 till -6. Resultatet från plattorna 1-4 visar att koncentrationerna av ammoniak generellt stiger i zon 1 medan avklingningen av ammoniak huvudsakligen sker i zon 2. Om man studerar de RF-kurvor som korrigerats ner med hänsyn till mätosäkerheten 2,7 % tycks halten av ammoniak vid ytan börja avta mellan 84-87% RF på ekvivalent mätdjup. Vidare i zon 3 tycks inte ammoniakkoncentrationen inte variera särskilt mycket. Detta kan bero på att de kemiska reaktioner som bildar ammoniak i provkropparna behöver en relativ fuktighet över ca 85 % och/eller att transporten i vätskefas via fuktfyllda porer i plattorna till ytan stannar. Således stiger inte längre ammoniak koncentrationerna vid ytan.

Diagrammen för plattorna ligger i ordningsföljd. Ammoniakkoncentrationerna beskrivs med de översta röda linjerna. Linjerna illustrerar enbart ammoniaknivåernas förändring med tiden. Inga värden för ammoniakkoncentrationerna redovisas således i diagrammen på nästföljande sida.

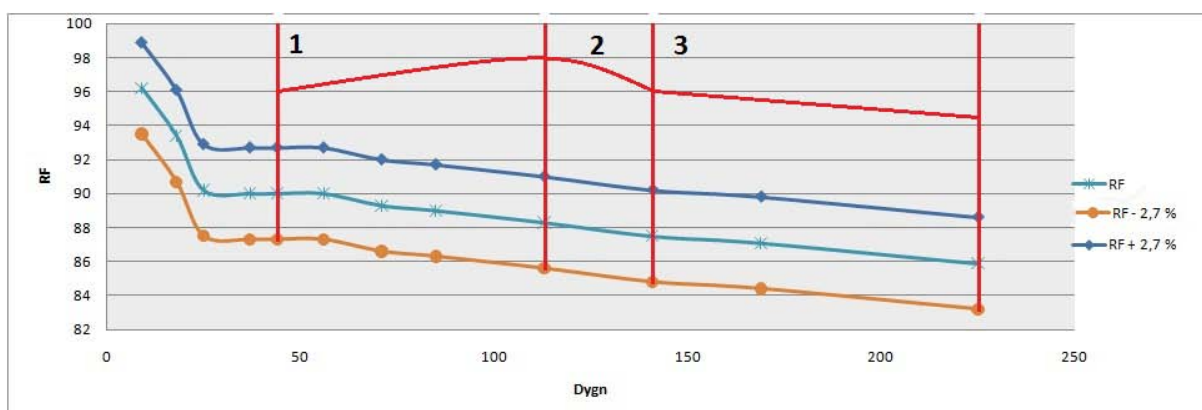


Diagram 10.1-3 Platta 1. Uttorkning med hänsyn till mätosäkerhet. Zon-indelning efter mätningstillfälle.

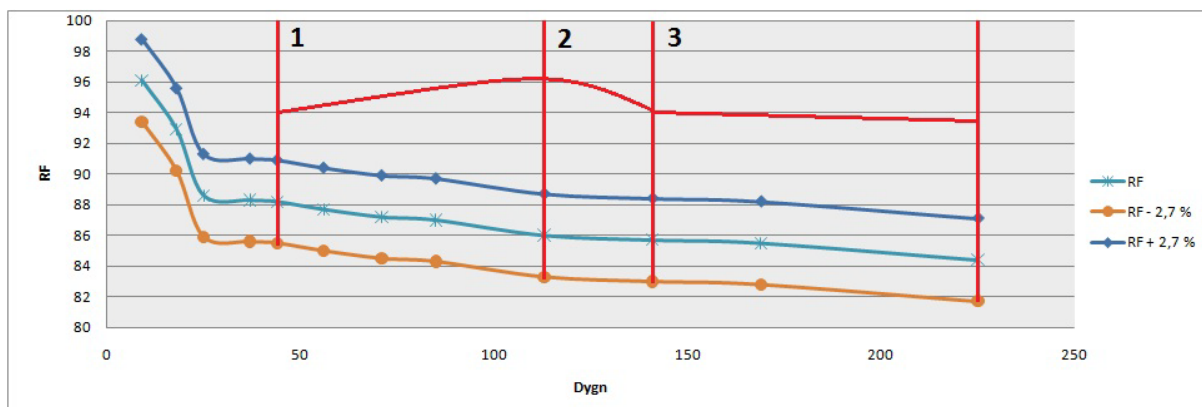


Diagram 10.1-4 Platta 2 Uttorkning med hänsyn till mätosäkerhet. Zonindelning efter mätningstillfälle.

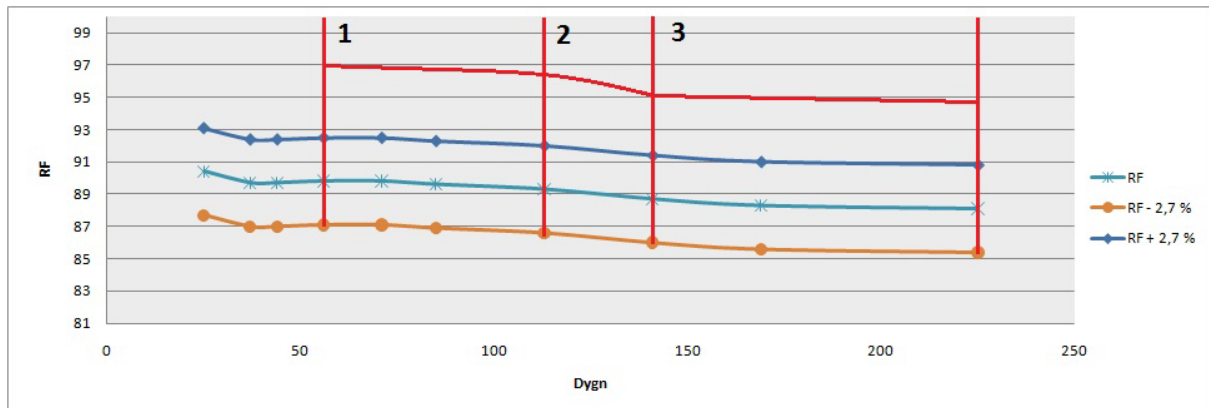


Diagram 10.1-5 Platta 3 Uttorkning med hänsyn till mätosäkerhet. Zonindelning efter mätningstillfälle.

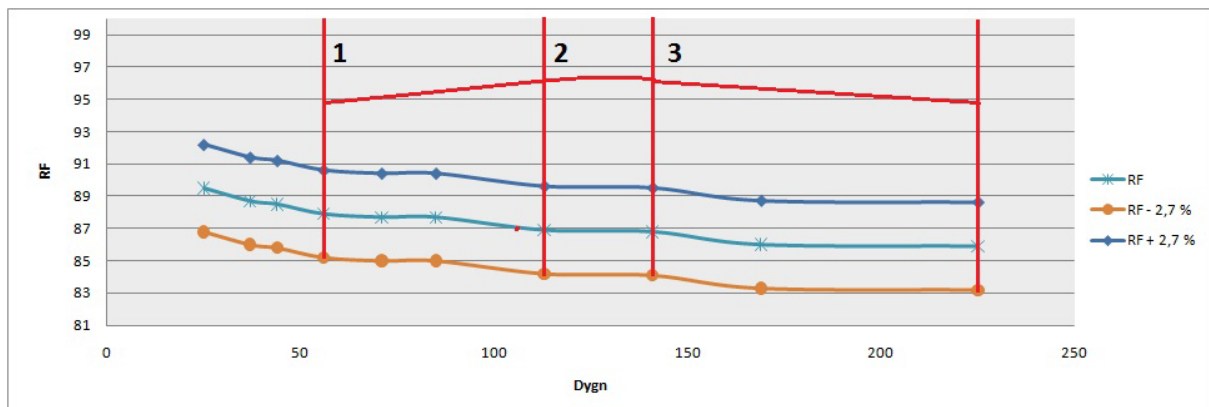


Diagram 10.1-6 Platta 4 Uttorkning med hänsyn till mätosäkerhet. Zonindelning efter mätningstillfälle.

10.6 Fuktens betydelse för ammoniak i betong

Som tidigare nämnts har fukten en stor påverkan på ammoniakemissionerna. I en del utredningar samt vid laboratorium undersökningen är sambandet mellan ammoniak och RF-fördelning i plattorna näst intill identiska.

Eftersom att ammoniakemissionerna vid ytan klingar av när RF ligger mellan 85-90 % på ekvivalent mätdjup kan man tänka sig att kapillärtransporten upphör i detta intervall. Emissionerna stabiliseras därefter under mer eller mindre ren diffusion.

På grund av detta antagande får ammoniaken som avsätts vid ytan antas ha transporterats lösts i porvattnet som ammonium NH_4^+ . Till en början produceras ammoniak genom större delen av betongtvärsnitten. Allt efter att produktionen avtar så fördelas ammonium i olika nivåer genom djupet av betongen via fukttransport i materialet.

Med bakgrund till detta antagande är det också troligt att betong med lågt vct (HBT-betong) transporterar ammoniumjonerna på samma sätt trots att denna betong innehåller mindre fukt. Detta på grund av att denna betong innehåller större andel små kapillärporer än vanlig betong. Detta har visats på alkali i betong (Sjöberg, 1998)

Enligt HUS AMA gäller för golvläggning med PE-folie och parkett att RF på ekvivalent mätdjup max är 95 %. Kanske bör detta krav sänkas då golvet ska utföras av ekparkett. När golvet läggs så omfördelas fukten så som vi visar i diagrammen i kapitel 9. Av resultaten framgår att vid golvläggning vid 95 % RF på ekvivalent mätdjup att RF stiger från omkring 40-50 % RF till nivåer omkring 85-90 % under PE-folien. Undersökning av ammoniak med reagensrör innan golvläggning kan med bakgrund till detta peka på låga eller möjligtvis inga halter av ammoniak vid ytan. Efter golvläggningen fuktas betongen upp och transporten från de djupare delarna i plattan återupptas. Om golvbeläggningen utgörs av ekparkett samt att stegljudsdämpare/PE-folie inte ligger tät kommer troligtvis parketten skadas om betongen i fråga innehåller reagerbart kväve.

Kväveföreningar kan påvisas i stort sätt i samtliga delmaterial som används i betong. Det har även bevisats att normal betong utförd av cement, vatten och ballast ger upphov till ammoniakemissioner. Nivåerna av ammoniak varierar dock med användning av bland annat malhjälpmedel i tillredningsprocessen av cementen. Det kan vara så att ammoniak har bildats i betong i många år utan att det har uppmärksammats. De blir vanligare och vanligare med ekparkett i svenska hem och detta kan vara anledningen till att problemet har uppmärksammats. Förekomsten av kväveföreningar i betongen kanske inte är av betydelse för de sjukhus-symptom som i vissa fall rapporteras om. Sjukhus-symptom är ett mycket komplicerat problem samt mera utbrett än missfärgningar på ekparkettgolv till följd av ammoniak. En del gånger påträffas inte heller dessa symptom när missfärgningar ändå har uppstått. Detta kan bero på att dessa människor är mindre känsliga än en del andra eller att de skadliga emissionerna har en annan anledning än förekomsten av ammoniak i betongen.

10.7 Kvalitetssäkring

Med denna kvalitetssäkring ger vi några förslag på åtgärder som kan förhindra att ekparkettgolv skadas till följd av ammoniakemissioner från betong.

- Sänk HUS AMA:s krav på 95 % då golvet skall utföras av ekparkett på PE-folie.
- Högre krav på tätskikt. (Detta löser dock inte problemet med ammoniakproduktion i betongen)
- Golvvärme (Torrare betong)
- Reducering av kväveinnehållet i delmaterial i cement och betong.
- Mekaniskt ventilerat luftspaltsbildande golv. (Säkraste och mest beprövade åtgärden för skadliga emissioner enligt AK Konsult Indoor Air AB).

10.8 Slutsats

Våra efterforskningar kring ämnet visar på att fukten spelar en viktig roll troligtvis tillsammans med alkali i betongen. Olika instabila kväveföreningar som påverkas av detta och producerar ammoniak tycks i viss grad alltid finnas i betongen under dagens rådande produktionsförhållanden. Att ammoniak förekommer i olika halter i olika objekt beror troligen på att vissa plattor har påverkats av flera omständigheter. I helt vanlig cement produceras ammoniak liksom i betong där denna cement används. Läger man därtill ballast innehållande relativt mycket sprängämnesrester så kan detta kanske räcka för att stora problem med missfärgningar och andra olägenheter följer. Om även eventuell flygaska används i dagens cement och betong så är det en högst trolig orsak till problemet med hänsyn till problemen i Danmark.

Att Cementa uppger att flygaska kommer att bli en del av standardcement i Sverige. Incitamentet för Cementa är stort eftersom detta kommer att ersätta en del av cementen samt sänka koldioxidutsläppen.

Frågan är hur byggbranschen kommer att påverkas av detta när vi redan nu har problem med ammoniak i betongen.

För att lösa problemet krävs mycket mer efterforskningar än vad vi har hunnit med på 10 veckor som detta examensarbete har pågått. Våra rekommendationer för fortsatta studier är följande:

- Vilken nivå på RF på ekvivalent mätdjup krävs för att undvika ammoniakkoncentrationer på 5ppm vid betong ytan?
- Finns det fler eventuella källor kvävekällor som tillsätts i cement och betong?
- Bestämning av vilka kväveföreningar som förekommer i cement och betong.
- Bestämning av vilken eller vilka kväveföreningar som reagerar med alkalisk fukt och bildar ammoniak.
- Undersöka om ammoniak sätter i gång andra kemiska reaktioner som kan vara skadliga.
- Nya fullskaliga försök där flera parametrar dokumenteras och undersöks.

Referenslista

Muntliga källor

Tina Hjellström	Cementa AB	2010-05-04
Göran Stridh	Pensionerad kemist, Yrkes o. Miljömedicinska Klinken	2010-04-25
Hans Gustavsson	Kemist, Sveriges Tekniska Forsknings Institut	2010-05

Källor via e-mail

Jørn Bødker	Teknologiska Institutet Köpenhamn	2010-04-22
Tina Hjellström	Cementa AB	2010-05-10
Martin Hansson	Sika Sverige AB	2010-04-23
Arne Hellström	Betongexpert på www.Betong.se	2010-05-25
Anders Jansson	HCmiljö Cementa AB	2010-05-10

Tryckta källor:

Hans Ericsson, Björn Hellström, 1984. Skador i golv av flytspacklad betong under tiden 1977-1983, R193:1984, Statens råd för byggforskning, Stockholm, ISBN 91-540-4293-3

Carl-Gustav Bornehag, 1994. Mönsteranalys av inomhusluft, R23:1994, Bygghälsöversikt, Bygghälsöversikt, Stockholm, ISBN 91-540-5654-3

Per Gunnar Burström, 2007. Byggnadsmaterial, uppbyggnad, tillverkning och egenskaper, andra upplagan, Narayana Press, ISBN 978-91-44-02738-8

Anders Sjöberg, 1998. Transportprocesser och reaktioner i belagda betonggolv, olika faktorerers inverkan på emission från golvkonstruktioner, Institutionen för byggnadsmaterial, Chalmers tekniska högskola, Göteborg, P-98:13

Lars Erik Nevander, Bengt Elmarsson, 1994. Fukt Handboken, praktik och teori, Tredje utgåvan, andra tryckningen, Elanders Infologistics Väst AB, ISBN 978-91-7333-156-2

Tina Hjellström, 2004. Chemical emissions from concrete, Institutionen för byggnadsmaterial, Lunds universitet, Lund, TVBM-3114.

RBK, 2005, Manual – fuktmätning i betong, version 4, Sveriges Byggindustrier, Stockholm

Digitala källor

Anders Sjöberg, 2001, Egenskaper och funktion hos fukt- och alkalispärrar på betong, Institutionen för byggnadsmaterial, Chalmers tekniska högskola, Göteborg, P-01:5,
<http://www.fuktcentrum.lth.se/fileadmin/fuktcentrum/PDF-filer/p015.pdf> (2010-04-05)

Anders Sjöberg, 2003, Direktlimmat trägolv på betongunderlag, Teoretiska beräkningar av fuktbelastning på undergolvet, Avdelningen för byggmaterial och fuktcentrum, Lunds tekniska högskola, Lunds universitet, Lund, TVBM-3112,
<http://lup.lub.lu.se/luur/download?func=downloadFile&fileId=641847> (2010-05-24)

Socialstyrelsen, 2006, Kemiska ämnen i inomhusmiljön,
http://www.socialstyrelsen.se/Lists/Artikelkatalog/Attachments/9656/2006-123-38_200612338.pdf (2010-04-10)

Arbetsmiljöverket, 2005, Hygieniska gränsvärden och åtgärder mot luftföroreningar, AFS 2005:17,
http://www.av.se/dokument/afs/AFS2005_17.pdf (2010-04-15)

Jørn Bødker, 2006, Ammoniak i flygaska, Vägledning för betongtillverkare,
<http://www.emineral.dk/UserFiles/file/Svensk/ammoniak%20i%20flyveaske%20SE.pdf> (2010-03-30)

Department of Environmental Protection Florida,
<http://www.dep.state.fl.us/air/emission/construction/cement/SCANNOx.pdf> (2010-05-16)

Teknologisk institute, Flygaska i betong - Betongteknik

http://www.emineral.dk:80/swe/filer/903654_900995_FLYGASKA_I_BETONG_BETONGTEKNIK.pdf
(2010-04-01)

Miljö och hälsoskyddsnämnden, Cementas tillståndsprövning

<http://www.gotland.se/imcms/25889> (2010-05-02)

Digitala vetenskapliga tidskrifter:

H. Järnström, K. Saarela, P. Kalliokoski, A-L. Pasanen, 2006. Reference values for indoor air pollutant concentrations in new, residential buildings in Finland, Atmospheric Environmental, 40

H. Järnström, K. Saarela, P. Kalliokoski, A-L. Pasanen, 2006. Reference values for structure emissions measured on site in new residential buildings in Finland, Atmospheric Environmental, 41

H. Järnström, K. Saarela, P. Kalliokoski, A-L. Pasanen, 2007. Comparison of VOC and ammonia emissions from individual PVC materials, adhesives and from complete structures. Environmental International, 34

Z, Bai, Y. Dong, Z. Wang, T. Zhu, 2005. Emissions of ammonia from indoor concrete wall and assessment of human exposure. Environmental International, 32

T. Tomoto, A. Moriyoshi, K. Sakai, E. Shibata, M. Kamijima, Identification of the sources of organic compounds that decalcify cement concrete and generate alcohols and ammonia gases. *Building and Environment*, 44

T. Lindgren, 2009. A case of indoor air pollutant of ammonia emitted from concrete in newly built office in Beijing. *Building and Environment*, 45

S. Karlsson, Z-G. Banhidi, A-C. Albertsson, 1988. Identification and characterization of alkali-tolerant clostridia isolated from biodeteriorated casein-containing building materials. *Applied Microbiology and Biotechnology*. 310

Internetkällor

Andersen, 2009, Entreprenörer opgiver egetræsgulve: Betonen gør dem sorte

<http://ing.dk/artikel/102500-entreprenoerer-opgiver-egetraesgulve-betonen-goer-dem-...%202009-09-23Entreprenører%20opgiver%20egetræsgulve:%20Betonen%20gør%20dem%20sorte> (2010-04-09)

Cementas hållbarhetsredovisning 2007

<http://www.heidelbergcement.com/NR/rdonlyres/440DC056-0749-494C-8116-5E0D64F1AAC5/0/CementasH%c3%a5llbarhetsredovisning2007.pdf> (2010-04-08)

Naturvårdsverket,

<http://www.naturvardsverket.se/sv/Sveriges-miljomal--for-ett-hallbart-samhalle/Vad-ar-ett-hallbart-samhalle/Goda-exempel/Industriell-ekologi/Industri/> (2010-05-16)

Vattenfall, 2006, Vattenfall forskning och utveckling, Förnybara bränslen,

http://www.vattenfall.se/sv/file/2006---nox-utslapp_11335778.pdf (2010-05-19)

Bilder:

Bild 2.2-1. <http://en.wikipedia.org/wiki/File:Ammonia-3D-balls-A.png>

Bild 2.1-2. <http://sv.wikipedia.org/wiki/Fil:Ammonium-3D-balls.png>

Bild 3.1-1. Cementas hållbarhetsredovisning 2007.

Bild 3.1-2. <http://en.wikipedia.org/wiki/File:CemKilnKiln.jpg>

Bild 3.1-3. Cementas hållbarhetsredovisning 2007.

Bild 4.1-1. Jørn Bødker, 2006, Ammoniak i flygaska, Vägledning för betongtillverkare

Bild 8.1-1. AK Konsult Indoor Air AB

Diagram:

Diagram 6.1-1- Diagram 8.1-3 Mätvärden från AK Konsult Indoor Air AB

Diagram 9.1-1- Diagram 9.1-5 Egna Diagram

Diagram 10.1-1- Diagram 10.1-6 Egna diagram

Tabeller:

Tabell 3.1-1.- Tabell 3.1-3. Tina Hjellström, 2004. Chemical emissions from concrete. Institutionen för byggnadsmaterial, Lunds universitet, Lund. TVBM-3114

Tabell 3.1-4. Cementas hållbarhetsredovisning år 2007.

Tabell 3.3-1. AB Sydsten, Mix Design – Betongtillverkning med hänsyn till funktionskrav.

http://www.byggnadsmaterial.lth.se/fileadmin/byggnadsmaterial/education/bml_blcp/10a_veywa_dt_betongproportionering

Tabell 4.2-1. Socialstyrelsen, 2006, Kemiska ämnen i inomhusmiljön,

[http://www.socialstyrelsen.se/Lists/Artikelkatalog/Attachments/9656/2006-123-38_200612338.pdf\(2010-04-10\)](http://www.socialstyrelsen.se/Lists/Artikelkatalog/Attachments/9656/2006-123-38_200612338.pdf(2010-04-10))

Tabell 6.1-1. Egen tabell

Tabell 6.1-2.- Tabell 6.1-4 Mätvärden från AK Konsult Indoor Air AB

Tabell 6.1-5. Mätvärden från AK Konsult Indoor Air AB

Tabell 7.1-1.- Tabell 7.2-1. Egen tabell

Tabell 7.2-2.- Tabell 7.2-3. Mätvärden från AK Konsult Indoor Air AB

Tabell 7.2-4. Referensvärde C-G Bornehag 1994

Tabell 7.2-5.- Tabell 8.1-2. Mätvärden från AK Konsult Indoor Air AB

Tabel 9.1-1. Egen tabell

Figurer:

Figur. 2.3-1. http://sv.wikipedia.org/wiki/Fil:Gallic_acid.svg

Figur. 2.3-2. [http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/4/44/\(%2B\)-Catechin.png](http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/4/44/(%2B)-Catechin.png)

Figur. 2.3-3. <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/en/e/e5/Pyrogallol2.png>

Figur. 2.3-4. Egen figur

Figur. 4.3-1. RBK 2005

BILAGOR

BILAGA 1

TorkaS

Beräkningsprogrammet Torka S är ett hjälpmedel för bedömning av tiden för uttorkningen av betongbjälklag. Programmet kan användas vid projekteringen av betonggjutningen, det är inte tänkt att ersätta fuktmätningar innan golvbeläggning. I detta examensarbete har Torka S 3.0 använts vilket är en vidareutveckling av de tidigare programmen. TorkaS berör uttorkning av byggcement. De viktigaste punkterna som har förändrats i den nyare versionen jämfört med de gamla är:

- Inverkan av silkastoft är borttaget
- Effekter av extrema temperaturer i början av härdningsprocessen är inkluderat
- Förbättrat gränssnitt
- Uppdaterad klimatdata gällande både temperaturer och orter
- Förbättrad manual

Förutsättningar

I programmet kan man välja uttorkning av platta på mark eller mellanbjälklag. När detta är valt finns ytterligare val för att specificera bjälklaget.

Ytterligare förutsättningar som ska anges för platta på mark är typ av underliggande-isolering(mineralull, cellplast) samt tjockleken på denna eller underliggande fuktspärr.

För mellanbjälklag ska det ytterligare anges:

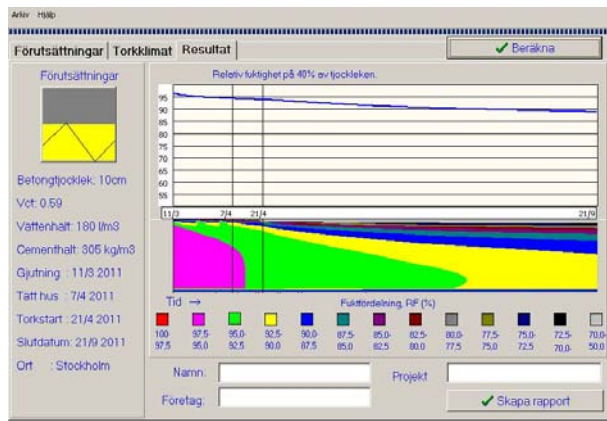
- Traditionellt bjälklag
- Pågjutning av kvarsittande betongform
- Pågjutning av kvarsittande plåtform

Klimatdata

Vid uttorkning påverkas betongen mycket av vilket klimat som råder. I programmet kan man därför välja klimatdata från 10 olika platser i Sverige. Den klimatdata som finns inlagt är baserat på ett normalår för temperatur och nederbörd under perioden 1995-2005.

Resultat

När alla förutsättningar är valda beräknar programmet uttorkningstiden för betongbjälklaget. Resultatet visas dels som RF på det ekvivalenta djupet som funktion av tiden och dels som RF fördelningen i betongen som funktion av tiden. Det övre diagrammet i figur 1 visar RF på det ekvivalenta djupet. I samma figur kan man utläsa RF fördelningen i betongprofilen som funktion av tiden. På Y-axeln avläses djupet på betongprofilen och tiden visas på X-axeln. R F anges i intervallet 2,5 % vilket anges i egna färgroner.



Figur 1

KFX

Beräkningsprogrammet KFX kan användas i projektet för att beräkna omfördelningen av fukten i betongplattan p.g.a. diffusion. Programmet är framtaget vid institutionen för byggnadsmaterial vid Chalmers tekniska högskola. Genom åren har programmet omarbetats, den senaste uppdateringen skedde 2002 av Mats Rodhe.

Programmet

Byggnadsmaterialen som skall ingå i beräkningarna delas in i tio olika beräkningsceller. Vidare anges sedan materialegenskaper för varje skikt. Programmet utför sedan endimensionella fuktfördelningsberäkningar. Beräkningar utförs icke stationärt d.v.s. beräkningarna utförs med hänsyn till att fukthalten (w), fuktkapaciteten (dw/dRF) och ånggenomsläppligheten (δ) varierar med RF.

De materialegenskaper som ska anges är följande:

- Materialens fukttransportkoefficient δ är fuktberoende och anges därför med tre olika RF parametrar.
- Sorptionskurvor beskriver fukthaltsändringar, dessa är olika för olika material. Med fyra parametrar definieras sorptionskurvorna i programmet.
- Materialsiktets värmeledningstal (λ)
- Tjockleken på materialelementen
- Fukthalt i materialen då beräkningarna påbörjas

Materialegenskaperna måste anges av användaren då det i dagsläget inte finns någon materialdatabas.

Det går även att ange ånggenomgångsmotstånd på sid I och II samt mellan de olika elementen.

Klimatet

Klimatet på de båda sidorna (sida I och II) kan anges på olika sätt. På sida I kan klimatet anges som ett medelvärde för temperatur och RF. Dessa går även att ange i sinusformat som varierar i amplitud och fasförskjutning.

Sida II:s klimat kan anges genom två alternativa sätt. Första alternativet är på samma sätt som tidigare beskrivits. Andra alternativet är att ange en konstant inomhustemperatur samt ett fukttillskott.

		Element													
		Sida I	I, yta	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	II, yta	Sida II
Material				Betong	Betong	Betong	Betong	Betong	Betong	Betong	Betong	Betong	Betong		
W_{e50}	[kg/m ³]			47	47	47	47	47	47	47	47	47	47		
W_{e100}	[kg/m ³]			140	140	140	140	140	140	140	140	140	140		
$W_{e_{max}}$	[kg/m ³]			180	180	180	180	180	180	180	180	180	180		
a, formfaktor				5	5	5	5	5	5	5	5	5	5		
δ_0	[m ² /s]			2,5E-07	2,5E-07	2,5E-07	2,5E-07	2,5E-07	2,5E-07	2,5E-07	2,5E-07	2,5E-07	2,5E-07		
δ_{95}	[m ² /s]			1,6E-06	1,6E-06	1,6E-06	1,6E-06	1,6E-06	1,6E-06	1,6E-06	1,6E-06	1,6E-06	1,6E-06		
δ_{100}	[m ² /s]			2,5E-06	2,5E-06	2,5E-06	2,5E-06	2,5E-06	2,5E-06	2,5E-06	2,5E-06	2,5E-06	2,5E-06		
λ	[W/mK]			1,700	1,700	1,700	1,700	1,700	1,700	1,700	1,700	1,700	1,700		
Elementtjocklek	[m]			0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010		
W, initieellt				120,00	120,00	120,00	120,00	120,00	120,00	120,00	120,00	120,00	120,00		
R, övergångsmotstånd	[m ² K/W]		0,05												0,13
Z, övergångsmotstånd	[s/m]		0												0

Mellan element	1 - 1	1 - 2	2 - 3	3 - 4	4 - 5	5 - 6	6 - 7	7 - 8	8 - 9	9 - 10	10 - II
Z, ångspärr											

		Sida I	alt. 1	Sida II	alt. 2
T_{medel}	[°C]	16	20	T_{II}	[°C]
$T_{amplitud}$	[°C]	0	0	Max RF_{II}	75%
T_{fuc} (för T_{min})	[dygn]	0	0	$\Delta v = v_{II} - v_I$	[kg/m ³]
RF_{medel}		100,0%	50,0%		
$RF_{amplitud}$		0,0%	0,0%		
RF_{fuc} (för RF_{min})	[dygn]	0	0		
I_{medel}	[W/m ²]	0	0		
$I_{amplitud}$	[W/m ²]	0	0		
I_{fuc} (för I_{min})	[dygn]	0	0		

Tid	
Period	[dygn] 365
Start i perioden	[dygn] 0
Tidssteg, (Δt)	[tim] 0,01
Tid per resultat	[tim] 24
Tid totalt	[dygn] 365

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Beräkna

Exempel på indatablad

Resultat

Efter utförda beräkningarna erhålls RF, temperatur, fukthalt och ånghalt efter ett visst antal tidssteg i tabellformat. Resultaten kan även studeras grafiskt i form av fuktprofiler, RF-fördelning och fukthalter som funktion av tiden.

BILAGA 2

Platta på mark

Material	Sida I	I, yta	Element										II, yta	Sida II
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
We_{50} [kg/m ³]			Skikt 1	Skikt 2	Skikt 3	Skikt 4	Skikt 5	Skikt 6	Skikt 7	Skikt 8	Skikt 9	Skikt 10		
We_{100} [kg/m ³]			47	47	47	47	47	47	47	47	47	47		
We_{max} [kg/m ³]			140	140	140	140	140	140	140	140	140	140		
a, formfaktor			180	180	180	180	180	180	180	180	180	180		
δ_0 [m ² /s]			5	5	5	5	5	5	5	5	5	5		
δ_{95} [m ² /s]			3,0E-07	3,0E-07	3,0E-07	3,0E-07	3,0E-07	3,0E-07	3,0E-07	3,0E-07	3,0E-07	3,0E-07		
δ_{100} [m ² /s]			4,7E-06	4,7E-06	4,7E-06	4,7E-06	4,7E-06	4,7E-06	4,7E-06	4,7E-06	4,7E-06	4,7E-06		
λ [W/mK]			7,6E-06	7,6E-06	7,6E-06	7,6E-06	7,6E-06	7,6E-06	7,6E-06	7,6E-06	7,6E-06	7,6E-06		
Elementtjocklek [m]			1,700	1,700	1,700	1,700	1,700	1,700	1,700	1,700	1,700	1,700		
W, initialt			0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015		
R, övergångsmotstånd [m ² K/W]			120,00	120,00	120,00	120,00	120,00	113,00	113,00	111,00	100,00	49,00		
Z, övergångsmotstånd [s/m]			250000											0,13
														2000000

Mellan element	I - 1	1 - 2	2 - 3	3 - 4	4 - 5	5 - 6	6 - 7	7 - 8	8 - 9	9 - 10	10 - II
Z ångspärr [s/m]											

	Sida I	alt. 1	Sida II	
			alt. 2	
T_{medel} [°C]	16	20	T_{II} [°C]	
$T_{amplitud}$ [°C]	0	0	Max RF _{II}	60%
T_{fu} (för T_{min}) [dygn]	0	0	$\Delta v = v_{II} - v_I$ [kg/m ³]	
RF _{medel}	100,0%	50,0%		
RF _{amplitud}	0,0%	0,0%		
RF _{fu} (för RF _{min}) [dygn]	0	0		
I_{medel} [W/m ²]	0	0		
$I_{amplitud}$ [W/m ²]	0	0		
I_{fu} (för I_{min}) [dygn]	0	0		

Tid		
Period [dygn]	365	
Start i perioden [dygn]	0	
Tidssteg, (Δt) [tim]	1	
Tid per resultat [tim]	24	
Tid totalt [dygn]	1090	

Material	Sida I	I, yta	Element										II, yta	Sida II
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
We_{50} [kg/m ³]			Skikt 1	Skikt 2	Skikt 3	Skikt 4	Skikt 5	Skikt 6	Skikt 7	Skikt 8	Skikt 9	Skikt 10		
We_{100} [kg/m ³]			47	47	47	47	47	47	47	47	47	47		
We_{max} [kg/m ³]			140	140	140	140	140	140	140	140	140	140		
a, formfaktor			180	180	180	180	180	180	180	180	180	180		
δ_0 [m ² /s]			5	5	5	5	5	5	5	5	5	5		
δ_{95} [m ² /s]			2,5E-07	2,5E-07	2,5E-07	2,5E-07	2,5E-07	2,5E-07	2,5E-07	2,5E-07	2,5E-07	2,5E-07		
δ_{100} [m ² /s]			1,6E-06	1,6E-06	1,6E-06	1,6E-06	1,6E-06	1,6E-06	1,6E-06	1,6E-06	1,6E-06	1,6E-06		
λ [W/mK]			2,3E-06	2,3E-06	2,3E-06	2,3E-06	2,3E-06	2,3E-06	2,3E-06	2,3E-06	2,3E-06	2,3E-06		
Elementtjocklek [m]			1,700	1,700	1,700	1,700	1,700	1,700	1,700	1,700	1,700	1,700		
W, initialt			0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015		
R, övergångsmotstånd [m ² K/W]			86,00	86,00	86,00	86,00	86,00	86,00	86,00	85,00	80,00	45,00		
Z, övergångsmotstånd [s/m]			250000											0,13
														2000000

Mellan element	I - 1	1 - 2	2 - 3	3 - 4	4 - 5	5 - 6	6 - 7	7 - 8	8 - 9	9 - 10	10 - II
Z ångspärr [s/m]											

	Sida I	alt. 1	Sida II	
			alt. 2	
T_{medel} [°C]	16	20	T_{II} [°C]	
$T_{amplitud}$ [°C]	0	0	Max RF _{II}	60%
T_{fu} (för T_{min}) [dygn]	0	0	$\Delta v = v_{II} - v_I$ [kg/m ³]	
RF _{medel}	100,0%	50,0%		
RF _{amplitud}	0,0%	0,0%		
RF _{fu} (för RF _{min}) [dygn]	0	0		
I_{medel} [W/m ²]	0	0		
$I_{amplitud}$ [W/m ²]	0	0		
I_{fu} (för I_{min}) [dygn]	0	0		

Tid		
Period [dygn]	365	
Start i perioden [dygn]	0	
Tidssteg, (Δt) [tim]	1	
Tid per resultat [tim]	24	
Tid totalt [dygn]	365	

Mellanbjälklag

Material	Sida I	I, yta	Element										II, yta	Sida II
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
Skikt 1			Skikt 1	Skikt 2	Skikt 3	Skikt 4	Skikt 5	Skikt 6	Skikt 7	Skikt 8	Skikt 9	Skikt 10		
We_{90} [kg/m ³]			47	47	47	47	47	47	47	47	47	47		
We_{100} [kg/m ³]			140	140	140	140	140	140	140	140	140	140		
We_{max} [kg/m ³]			180	180	180	180	180	180	180	180	180	180		
a, formfaktor			5	5	5	5	5	5	5	5	5	5		
δ_0 [m ² /s]			2,5E-07	2,5E-07	2,5E-07	2,5E-07	2,5E-07	2,5E-07	2,5E-07	2,5E-07	2,5E-07	2,5E-07		
δ_{95} [m ² /s]			1,6E-06	1,6E-06	1,6E-06	1,6E-06	1,6E-06	1,6E-06	1,6E-06	1,6E-06	1,6E-06	1,6E-06		
δ_{100} [m ² /s]			2,3E-06	2,3E-06	2,3E-06	2,3E-06	2,3E-06	2,3E-06	2,3E-06	2,3E-06	2,3E-06	2,3E-06		
λ [W/mK]			1,700	1,700	1,700	1,700	1,700	1,700	1,700	1,700	1,700	1,700		
Elementtjocklek [m]			0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025		
W, initialt			79,00	92,00	92,00	92,00	92,00	92,00	92,00	92,00	92,00	84,00	46,00	
R, övergångsmotstånd [m ² K/W]		0,13												0,13
Z, övergångsmotstånd [s/m]														2000000

Mellan element	I - 1	1 - 2	2 - 3	3 - 4	4 - 5	5 - 6	6 - 7	7 - 8	8 - 9	9 - 10	10 - II
Z ångspärr [s/m]											

	Sida I	Sida II	
		alt. 1	alt. 2
T_{medel} [°C]	20	20	T_{II} [°C]
$T_{amplitud}$ [°C]	0	0	Max RF_{II}
T_{fx} (för T_{min}) [dygn]	0	0	$\Delta v = v_{II} - v_I$ [kg/m ³]
RF_{medel}	50,0%	50,0%	
$RF_{amplitud}$	0,0%	0,0%	
RF_{fx} (för RF_{min}) [dygn]	0	0	
I_{medel} [W/m ²]	0	0	
$I_{amplitud}$ [W/m ²]	0	0	
I_{fx} (för I_{min}) [dygn]	0	0	

Tid	
Period [dygn]	365
Start i perioden [dygn]	0
Tidssteg, (Δt) [tim]	1
Tid per resultat [tim]	24
Tid totalt [dygn]	365

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	0,000	0,050	0,100	0,150	0,200	0,250	0,300			

Beräkna

Material	Sida I	I, yta	Element										II, yta	Sida II
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
Skikt 1			Skikt 1	Skikt 2	Skikt 3	Skikt 4	Skikt 5	Skikt 6	Skikt 7	Skikt 8	Skikt 9	Skikt 10		
We_{90} [kg/m ³]			47	47	47	47	47	47	47	47	47	47		
We_{100} [kg/m ³]			140	140	140	140	140	140	140	140	140	140		
We_{max} [kg/m ³]			180	180	180	180	180	180	180	180	180	180		
a, formfaktor			5	5	5	5	5	5	5	5	5	5		
δ_0 [m ² /s]			3,0E-07	3,0E-07	3,0E-07	3,0E-07	3,0E-07	3,0E-07	3,0E-07	3,0E-07	3,0E-07	3,0E-07		
δ_{95} [m ² /s]			7,4E-06	7,4E-06	7,4E-06	7,4E-06	7,4E-06	7,4E-06	7,4E-06	7,4E-06	7,4E-06	7,4E-06		
δ_{100} [m ² /s]			7,6E-06	7,6E-06	7,6E-06	7,6E-06	7,6E-06	7,6E-06	7,6E-06	7,6E-06	7,6E-06	7,6E-06		
λ [W/mK]			1,700	1,700	1,700	1,700	1,700	1,700	1,700	1,700	1,700	1,700		
Elementtjocklek [m]			0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025		
W, initialt			96,00	105,00	113,00	120,00	120,00	120,00	113,00	113,00	111,00	55,00		
R, övergångsmotstånd [m ² K/W]		0,13												0,13
Z, övergångsmotstånd [s/m]														2000000

Mellan element	I - 1	1 - 2	2 - 3	3 - 4	4 - 5	5 - 6	6 - 7	7 - 8	8 - 9	9 - 10	10 - II
Z ångspärr [s/m]											

	Sida I	Sida II	
		alt. 1	alt. 2
T_{medel} [°C]	20	20	T_{II} [°C]
$T_{amplitud}$ [°C]	0	0	Max RF_{II}
T_{fx} (för T_{min}) [dygn]	0	0	$\Delta v = v_{II} - v_I$ [kg/m ³]
RF_{medel}	50,0%	50,0%	
$RF_{amplitud}$	0,0%	0,0%	
RF_{fx} (för RF_{min}) [dygn]	0	0	
I_{medel} [W/m ²]	0	0	
$I_{amplitud}$ [W/m ²]	0	0	
I_{fx} (för I_{min}) [dygn]	0	0	

Tid	
Period [dygn]	365
Start i perioden [dygn]	0
Tidssteg, (Δt) [tim]	1
Tid per resultat [tim]	24
Tid totalt [dygn]	365

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	0,000	0,050	0,100	0,150	0,200	0,250	0,300			

Beräkna

Plattbärlag

Material		Element												II, yta	Sida II
		Sida I	I, yta	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
We ₆₀	[kg/m ³]			Skikt 1	Skikt 2	Skikt 3	Skikt 4	Skikt 5	Skikt 6	Skikt 7	Skikt 8	Skikt 9	Skikt 10		
We ₁₀₀	[kg/m ³]			47	47	47	47	47	47	47	47	47	47		
We _{max}	[kg/m ³]			140	140	140	140	140	140	140	140	140	140		
a, formfaktor				180	180	180	180	180	180	180	180	180	180		
δ ₀	[m ² /s]			5	5	5	5	5	5	5	5	5	5		
δ ₉₅	[m ² /s]			2,5E-07	2,5E-07	2,5E-07	2,5E-07	2,5E-07	2,5E-07	2,5E-07	2,5E-07	2,5E-07	2,5E-07		
δ ₁₀₀	[m ² /s]			1,6E-06	1,6E-06	1,6E-06	1,6E-06	1,6E-06	1,6E-06	1,6E-06	1,6E-06	1,6E-06	1,6E-06		
λ	[W/mK]			2,3E-06	2,3E-06	2,3E-06	2,3E-06	2,3E-06	2,3E-06	2,3E-06	2,3E-06	2,3E-06	2,3E-06		
Elementtjocklek	[m]			1,700	1,700	1,700	1,700	1,700	1,700	1,700	1,700	1,700	1,700		
W, initieellt				0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020		
R, övergångsmotstånd	[m ² K/W]			82,00	82,00	82,00	82,00	82,00	82,00	82,00	82,00	79,00	45,00		
Z, övergångsmotstånd	[s/m]			0,13											0,13
				100000											2000000

Mellan element	I - 1	1 - 2	2 - 3	3 - 4	4 - 5	5 - 6	6 - 7	7 - 8	8 - 9	9 - 10	10 - II
Z _{ångspärr}											

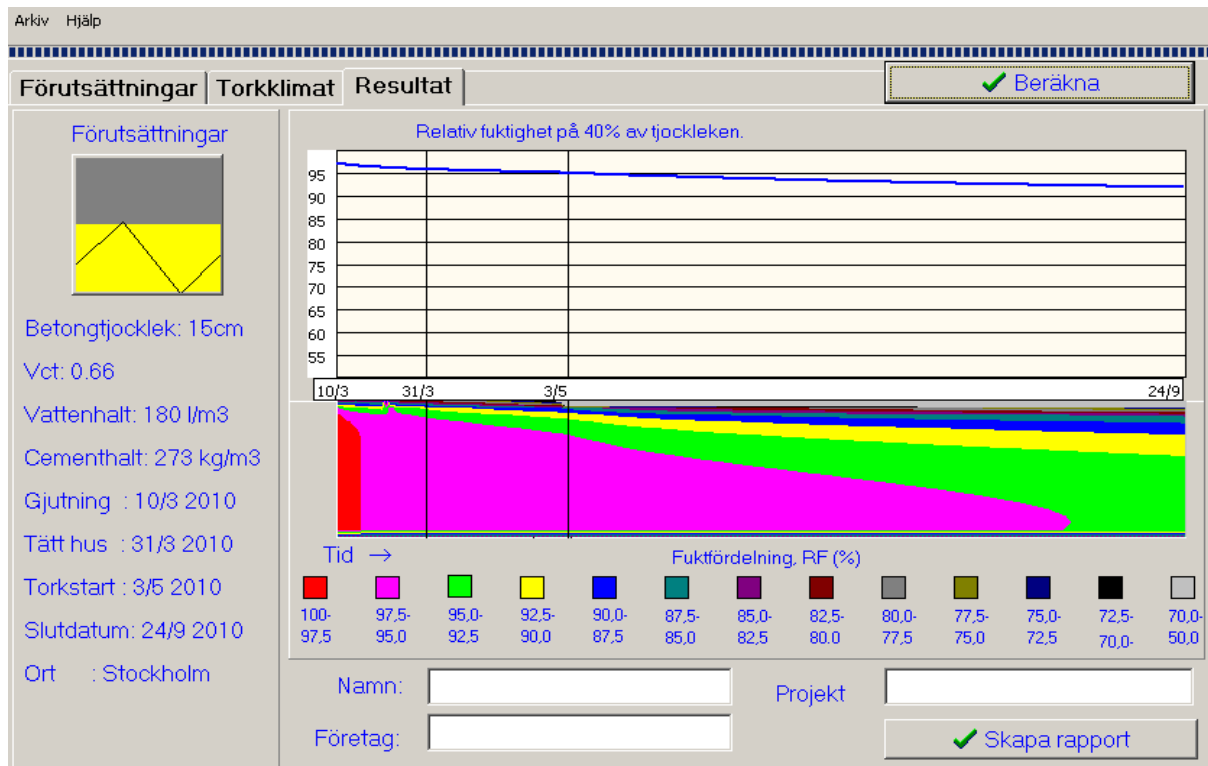
	Sida I		Sida II	
	alt. 1	alt. 2	alt. 1	alt. 2
T _{medel}	20	20	T _{II}	
T _{amplitud}	0	0	Max RF _{II}	60%
T _{fxi} (för T _{min})	0	0	Δv = v _{II} - v _I	
RF _{medel}	50,0%	50,0%		
RF _{amplitud}	0,0%	0,0%		
RF _{fxi} (för RF _{min})	0	0		
I _{medel}	0	0		
I _{amplitud}	0	0		
I _{fxi} (för I _{min})	0	0		

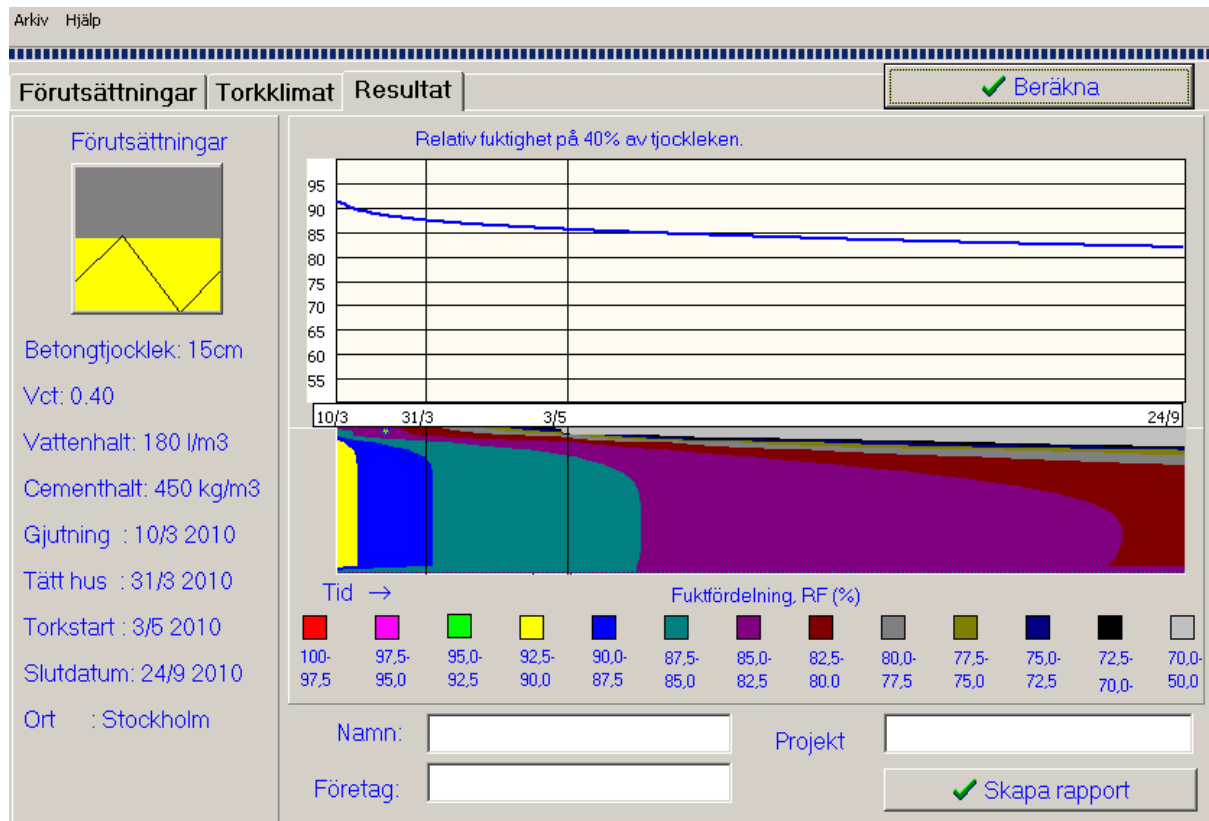
Tid	
Period	365
Start i perioden	0
Tidssteg, (Δt)	1
Tid per resultat	24
Tid totalt	365

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	0,000	0,050	0,100	0,150	0,200	0,250				

BILAGA 3

Platta på mark





Mellanbjälklag

Arkiv Hjälp

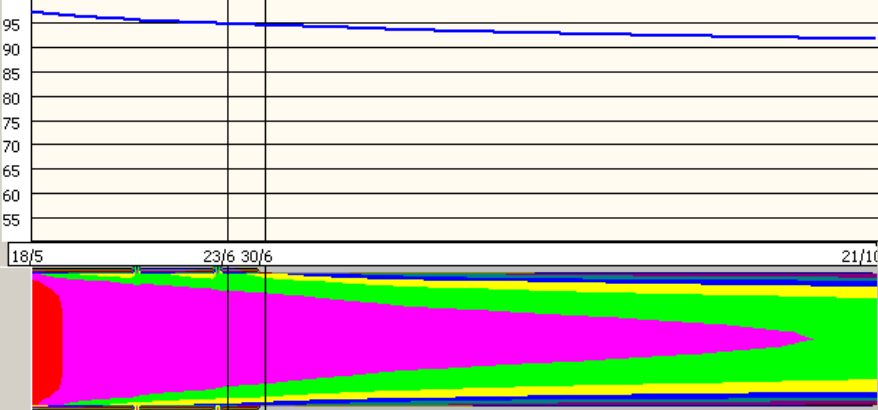
Förutsättningar Torkklimat Resultat ✓ Beräkna

Förutsättningar



Betongtjocklek: 25cm
Vct: 0.66
Vattenhalt: 180 l/m³
Cementhalt: 273 kg/m³
Gjutning : 18/5 2010
Tätt hus : 23/6 2010
Torkstart : 30/6 2010
Slutdatum: 21/10 2010
Ort : Stockholm

Relativ fuktighet på 20% av tjockleken.



Tid →

Fuktfördelning, RF (%)

100-97.5	97.5-95.0	95.0-92.5	92.5-90.0	90.0-87.5	87.5-85.0	85.0-82.5	82.5-80.0	80.0-77.5	77.5-75.0	75.0-72.5	72.5-70.0	70.0-50.0
----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------

Namn: Projekt:
Företag: ✓ Skapa rapport

Arkiv Hjälp

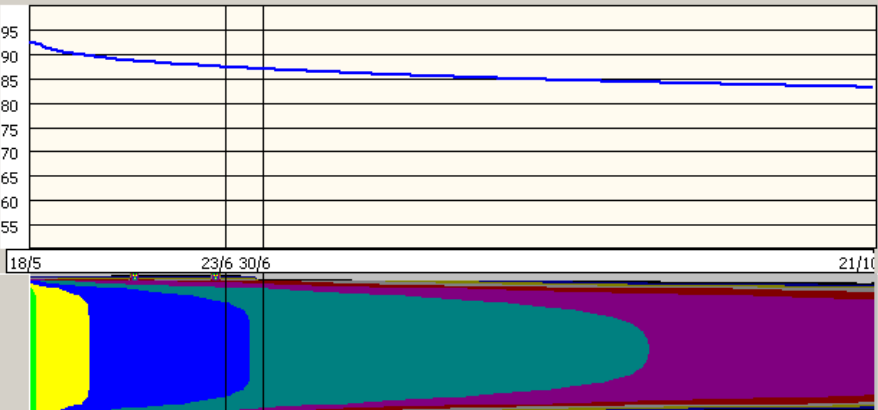
Förutsättningar Torkklimat Resultat ✓ Beräkna

Förutsättningar



Betongtjocklek: 25cm
Vct: 0.40
Vattenhalt: 180 l/m³
Cementhalt: 450 kg/m³
Gjutning : 18/5 2010
Tätt hus : 23/6 2010
Torkstart : 30/6 2010
Slutdatum: 21/10 2010
Ort : Stockholm

Relativ fuktighet på 20% av tjockleken.



Tid →

Fuktfördelning, RF (%)

100-97.5	97.5-95.0	95.0-92.5	92.5-90.0	90.0-87.5	87.5-85.0	85.0-82.5	82.5-80.0	80.0-77.5	77.5-75.0	75.0-72.5	72.5-70.0	70.0-50.0
----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------

Namn: Projekt:
Företag: ✓ Skapa rapport

Plattbärlag

