

DELAMINERING I BETONGGOLV

Är delaminering i industrigolv vanligare i moderna betongrecept?



BILD 1. Delaminering på ett glättat konventionellt betonggolv utan ströbetong.

Lars Kraft

2015-09-15

46 sidor

FÖRORD

Tack vare beviljade medel från Svenska Byggbranschens Utvecklingsfond, SBUF, har denna intressanta forskningsstudie angående problem med delaminering vid produktion av betonggolv kunnat genomföras.

Förutom SBUF vill jag och CBI Betonginstitutet speciellt tacka, Modern Betong AB och Skanska Sverige AB som med sitt engagemang har gjort det möjligt att genomföra denna studie. Skanska Sverige AB som visade intresse för problemet med delaminering och Moderna Betong AB både för initiativet till studien och för de kontakter inom golvlägningsbranschen som de förmedlade till undertecknad. Dessa kontakter med golventreprenörer utgör både en viktig bakgrund och en väsentlig del av studien. De golventreprenörer som lagt ned tid till projektet är jag också mycket tacksam till. Samtidigt önskar jag att fler hade tagit sig tid till att berätta och redogöra för svårigheter de varit med om. Dock skall man vara medveten om att få entreprenörer, om ens någon, dokumenterar uppkomna problem vid entreprenader, med fotografier eller minnesanteckningar. Saker rullar på som vanligt och det gäller att få inkomster för att kunna fortsätta arbeta. Därför är det svårt att i efterhand dokumentera inträffade skadefall, annat än genom de hågkomster som entreprenörerna själva kan återberätta.

CBII Betonginstitutet har dock under den tid som projektet löpt, varit ut på ett par uppdrag för att utreda skadeorsak på delaminerade golv och därigenom kunnat dokumentera ett par fall där delaminering i betonggolv har inträffat. Dessutom har CBI Betonginstitutets unika arkiv av gamla rapporter om skadeutredningar kunnat ge en värdefull bild av problemets omfattning längre bak i tiden.

Studien utgör ingen heltäckande bedömning av hur vanligt det är med uppkomst av delaminering av betonggolv. Rapporten visar dock att problemet finns och den indikerar att problemet varit större de senaste 10 åren jämfört med tidigare.

Rapporten redogör för undersökningar som genomförts under de senaste två åren, då tillfälle har getts. Ett antal intervjuer, en litteraturstudie i ämnet, genomgång av gamla CBI-rapporter och två skadeutredningar av betonggolv ute i fält har genomförts.

Till sist även ett tack till CBI Betonginstitutets förre VD Johan Silfwerbrand som stött arbetet med sin oförtrutna entusiasm samt till Carl-Fredrik Söderbergh på Modern Betong AB.

Läs rapporten! Här finns många goda råd att ta till sig för en lyckad utförd betonggolvsentreprenad.

Lars Kraft, Uppsala 2015-09-15

SAMMANFATTNING

Fram till för 5-10 år sedan förekom sällan problem med delaminering i betonggolv tillverkade med ströbetong, i synnerhet inte vid användning av strövagn. På senare år har det dock, bland många entreprenörer, upplevts som om antalet skadefall har ökat. Dessa skador orsakar stora kostnader för entreprenörerna.

Rapporten redogör för undersökningar som genomförts under de senaste två åren, Ett antal intervjuer, en litteraturstudie i ämnet, genomgång av gamla CBI-rapporter och två skadeutredningar av betonggolv ute i fält har genomförts. Både litteraturen, artiklar och olika typer av rapporter, och vittnesmål från utförande golventreprenörer tycks bekräfta en bild av att problem med delaminering ökade under de sista 10-15 åren. Huvudorsaken till denna ökning tros vara att betongrecepten har förändrats på ett sådant sätt att det ofta blivit mycket svårt att åstadkomma en bra ytbehandling av golvbetongen. En annan orsak är också att tekniken i mångt och mycket förändrats med utläggningsmaskiner med förmåga att ytbehandla större areor av betonggolv än vad som tidigare varit möjligt. Detta har också förändrat arbetssättet vilket också kan ha påverkat skadefrekvensen.

Studien ger alltså stöd som talar för att en ökning av delamineringsskador verkligen har skett. En belgisk studie har visat att mycket finmaterial gör det svårare att bearbeta betongen korrekt och att vissa typer av flytmedel har en förmåga att dra in luft i betongen vilket i stort sett kan göra det omöjligt att ytbearbeta betongen med glättning. Dessutom ger kombinationen med mycket finmaterial och sådana flytmedel ännu större luftinblandning i betongen. Sådana betongrecept har endast förekommit de sista årtiondena och det förklarar sannolikt de ökade problemen med delaminering.

Man bör undvika följande i betongrecepten för att undvika delaminering.

- Undvik betong med lufttillsats > 3 %.
- Undvik en betongsammansättning med för mycket finballast.
- Kontrollera vilken typ av flytmedel som används. Många flytmedel av typen polykarboxylateter (PCE) har egenskapen att dra med sig stora mängder luft in i betongen. Undvik sådana. Tala med producenterna.
- Kontrollera alltid lufthalten i betongen innan gjutningen påbörjas.
- Se alltid till att underlaget är ordentligt uppvärmt innan gjutningen påbörjas.
- Undvik att starta för tidigt med grovglättningen vid användning av sittmaskiner. Ett riktmärke som anges är att ett fotavtryck endast skall gå ner ca 3 mm i betongen att jämföra med 6 mm vid handhållen maskinglättning.
- Läs rapporten, ytterligare råd finns inuti...

För en framgångsrik entreprenad måste rätt betong beställas. Den bör normalt ha ett vct kring 0,50-0,60 för lyckat resultat, men det beror givetvis på vilket utförande man väljer, konventionell "gammaldags" utläggning med vakuumsug eller med laserläggare och ströbetong. Rådgör med betongproducent. Betongen bör ha en förmåga att blöda inom några timmar efter utläggning varefter den skall ha blött

klart så att ytbehandling kan påbörjas. Att betongen blöder indikerar att den inte är för tät. Men den får heller inte vara för lös och ha för hög vattenhalt, högt vct.

ACI committee 302 (2004) ger följande råd när det gäller cementmängd:

- $d_{\max} = 9,5$ mm, 360 - 415 kg cement/kubikmeter,
- $d_{\max} = 19$ mm, 320 - 375 kg cement/kubikmeter,
- $d_{\max} = 37,5$ mm, 280 - 330 kg cement/kubikmeter.

Själv är jag dock tveksam till höga cementhalter som ger vct som är lägre än 0,50. Detta står i kontrast till tänkandet med låga vct för snabb uttorkning av betonggolv. Glättade betonggolv behöver dock sällan torka ut fort eftersom ytbehandlingen med glättning syftar till att ge den slutliga ytan.

INNEHÅLL

1	ORIENTERING	6
2	BAKGRUND	6
3	SYFTE OCH MÅLSÄTTNING MED STUDIEN	7
4	BESKRIVNING AV STUDIENS GENOMFÖRANDE.....	7
4.1	DOKUMENTATION	7
5	DELAMINERING – DEFINITION OCH TYPER	7
6	PRODUKTION AV BETONGGOLV – UTFÖRANDE OCH DELAMINERINGSSKADOR.....	8
6.1	METODVAL UTIFRÅN KONSTRUKTIONSVAL	9
6.2	GAMMAL BEPRÖVAD TILLVERKNING AV BETONGGOLV MED BANOR OCH BRYGGA ..	9
6.3	MODERN TILLVERKNING AV BETONGGOLV – LASERSTYRD MEKANISERAD GOLVLÄGGNING [10]	10
6.4	TIDPUNKT FÖR GLÄTTNING AV BETONGGOLV	12
7	UNDERSÖKNINGAR	14
7.1	ERFARENHETER AV DELAMINERING FRÅN ENTREPRENÖRER	14
7.1.1	<i>Svar från frågeformulär</i>	<i>14</i>
7.1.2	<i>Intervjuer</i>	<i>15</i>
7.1.2.1	Intervju med hantverkare Gustafsson, Linotol AB 1 oktober 2013	16
7.1.2.2	Intervju med entreprenör Sven Hasselström i Kvänum, 1 oktober 2013	18
7.1.2.3	Intervju med entreprenör Aaro Kejonen, Scangolv AB, Gnosjö 2 oktober 2013	19
7.1.3	<i>Om delaminering och blåsor i rapporter, handböcker och tidskrifter.....</i>	<i>21</i>
7.1.4	<i>Orsaker till att delaminering i industrigolv uppkommer.....</i>	<i>22</i>
7.1.5	<i>Råd för att undvika att delaminering uppstår</i>	<i>24</i>
7.1.6	<i>Analys av delaminering i tunnslip</i>	<i>26</i>
7.1.7	<i>Hur delamineringen formeras i den plastiska betongen.....</i>	<i>27</i>
7.2	UNDERSÖKNING AV RAPPORTER PÅ CBI BETONGINSTITUTET	27
7.3	UNDERSÖKNINGAR AV TVÅ SKADEFALL MED DELAMINERING PÅ BETONGGOLV... 30	
7.3.1	<i>Delaminering i ströbetonggolv, Billackeringsgarage, Rapport 3P00205B 30</i>	
7.3.2	<i>Delaminering i glättad betongplatta, Ishall, Uppdragsrapport 3P00345 33</i>	
8	DISKUSSION UTIFRÅN RESULTAT AV STUDIER OCH OBSERVATIONER	36
8.1	MODERNT PROBLEM?	36
8.2	MER LUFT I BETONGEN ÄN FÖRVÄNTAT?	37

8.3	BELGISK STUDIE KASTAR LJUS ÖVER PROBLEM VID PRODUKTION AV BETONGGOLV	38
8.3.1	<i>Inflytande av andel finballast och typ av flytmedel.....</i>	<i>38</i>
8.4	UTFÖRANDE VID RÄTT TIDPUNKT (OCH RÄTT BETONG)	40
9	SLUTSATSER	42
9.1	RÅD FÖR ATT UNDVIKA DELAMINERING VID PRODUKTION AV BETONGGOLV	43
10	FORTSATTA STUDIER	43
11	TACK	43
12	REFERENSER.....	44

1 ORIENTERING

En leverantör av betongprodukter i golvbranschen, Modern Betong AB, erfor i samtal med sina kunder - betonggolvläggare – att man fått det svårare att åstadkomma bra golv med den ströbetong som man använt sig av. Alltför ofta uppstod problem med delaminering, dvs. i jämförelse med vad man tidigare hade erfarenhet av. Det berättades också att det på senare år även inträffar problem vid glättning av konventionella monolitiska betonggolv i större utsträckning. Eftersom ströbetongen fortfarande är exakt densamma som för 10 år sedan började man på Modern Betong AB undra om de förändringar av recepten i konventionell betong som skett på senare år, med mer finmaterial och fler tillsatsmedel, gjort ytbehandlingsproceduren med ströbetong svårare. Därför tog Carl-Fredrik Söderberg på Modern Betong i januari 2013 kontakt med CBI Betonginstitutets dåvarande VD Johan Silfwerbrand, för att undersöka om det fanns någon möjlighet att studera detta närmare. I syfte att undersöka omfattningen av ett eventuellt branschproblem med ytskador i hårdbetonggolv samlades därför branschföreträdare för materialtillverkare och entreprenörer av CBI Betonginstitutets VD, Johan Silfwerbrand. Gemensamt beslutades att söka bidrag från Svenska Byggbranschens Utvecklingsfond, SBUF, för att undersöka omfattningen av delamineringsproblematik i glättade betonggolv, samt för att kunna ge råd och rekommendationer till entreprenörerna.

SBUF beviljade medel till en studie och denna rapport presenterar resultatet av den studien.

Vid uppstarten av projektet omdefinierades syftet med studien till att:

- undersöka om det finns dokumentation som visar att problemet med delaminering varit större de senaste 10 åren jämfört med 80- och 90 talet.
- klarlägga orsakerna till att delaminering sker och försöka förklara varför problemen har ökade under det sista decenniet.

2 BAKGRUND

Fram till för 5-10 år sedan förekom sällan problem med delaminering i betonggolv tillverkade med ströbetong, i synnerhet inte vid användning av strövagn. På senare år har det dock, bland många entreprenörer, upplevts som om antalet skadefall har ökat [1]. Skadorna uppträder huvudsakligen som förgrenade sprickor, som ett Y men med 120° mellan de tre sprickorna över handflate-stora områden som lossnar från underlaget eller som kvadratmeterstora sjok som lossnar, utspridda överallt på golvytan. Skadorna förekommer inte endast på hårdbetonggolv med ströbetong utan även på monolitiska betonggolv och då sker delamineringen 2-3, 5 eller 10 mm under ytan. Gemensamt för alla golv är att de maskinglättas. Det är alltså oklart vad det är som har orsakat denna omtalade ökning.

3 SYFTE OCH MÅLSÄTTNING MED STUDIEN

Huvudsyfte med denna studie har varit tvefalt. För det första; att vederlägga eller bekräfta att antalet skadefall med delaminering verkligen har ökat det senaste decenniet jämfört mot tidigare. Det har dels undersökts genom kontakter med entreprenörer, dels genom litteraturstudier. För det andra; att förstå vilka möjliga orsaker som ligger bakom den omtalade ökningen av skadefall med industrigolv, både de med ströbetong och de monolitiska golven.

Förhoppningen med denna rapport är att i första hand vara till nytta för just golventreprenörer och ytbehandlare av betonggolv genom en ökad förståelse för de problem som kan uppstå vid tillverkningen av betonggolv för att undvika problem med delaminering. Rapporten skall ge kunskap för att rätt krav ställs både på levererad betong och på huvudentreprenör avseende tillräckliga förberedelser ian gjutning såsom t.ex. uppvärmning av mark vid kall väderlek.

4 BESKRIVNING AV STUDIENS GENOMFÖRANDE

Rapporten redogör för undersökningar och studier som genomförts under de senaste två åren, när tillfälle har givits. Ett antal intervjuer, en litteraturstudie i ämnet, genomgång av gamla CBI-rapporter och två skadeutredningar av betonggolv ute i fält har genomförts.

4.1 Dokumentation

Alla litteratur som använts finns angiven i avsnittet Referenser i slutet av huvudrapporten. Dessutom redovisas en lista med CBI uppdragsrapporter i avsnitt 7.3 och 7.4 som handlar om problem med delaminering eller blåsbildning på glättade betonggolv.

5 DELAMINERING – DEFINITION OCH TYPER



BILD 2. 1-2 mm tunt delaminerat skikt på hårdbetonggolv med strömaterial.

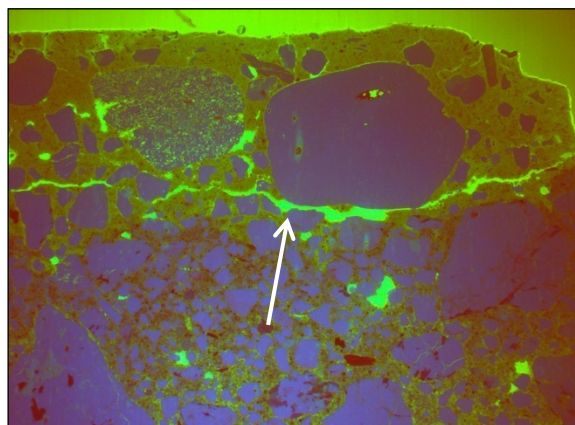


BILD 3. Ett tunnslip, ca 25 µm tjockt, tillverkat från betongprov från en 80 mm tjock pågjutning. delamineringen var här på ~10 mm djup. Se pil.

Begreppet delaminering används för beskrivning av skadetyper där en ytparallell spricka uppstått parallellt med ytan djupare in i betongen så att s.k. bom uppstår. Se BILD 1 - 3.

En utförlig beskrivning av olika typer av delamineringsskador och dess olika orsaker räknas upp i "Delamination – a state-of-the-art review", ett grundligt konferensbidrag från 2007 [2].

Vid produktion av nya betonggolv syftar ordet delaminering vanligen på tunna horisontella sprickformationer som har uppstått parallellt med betongens yta, vanligen på ca 3 – 10 mm djup (undantagsvis upp till 30 mm). Se BILD 3. Sådana tunnare skikt släpper oftast från betongytan. Fenomenet kan uppträda direkt efter glättningen, eller manifesteras efter några dagar eller t.o.m. månader efter att golvet tagits i bruk. Utbredningen av delamineringen kan variera från enstaka kvadratcentimetrar till kvadratmetrar [3].

Men ordet delaminering kan alltså även användas som begrepp då en pågjutning förlorar vidhäftning till underlaget [2, 4] eller när ytligt, eller djupare, belägen armering börjat korrodera och svällningen får parallella flak att spjälka loss från underlaget, alternativt får betongen att spricka [5]. Delaminerade ytskikt kan även uppstå till följd av frostskaador [6] samt av alkali-silika-reaktioner, ASR, som i likhet med armeringskorrosion orsakar en svällning i betongen.

Delaminering är alltså ett begrepp som beskriver resultatet av skada men som kan ha ett flertal olika orsaker

6 PRODUKTION AV BETONGGOLV – UTFÖRANDE OCH DELAMINERINGSSKADOR

Problem med delaminering på betonggolv uppstår när någonting inte har gått planenligt vid konstruktionen av golvet. Det kan bero på många olika saker, men förenklat kan det bero på antingen *utförandet*, inklusive konstruktionsritningar, planering och andra omständigheter, eller på *betongblandningen*, dess sammansättning, tillsatser, blandningsförfarande och transport till byggarbetsplatsen. Det skall dock tilläggas att det vilar på utförande betongentreprenör att godkänna både föreskriven och levererad betong, varför det i slutänden egentligen alltid kommer bero på utföraren av gjutningen och efterföljande bearbetning.

För att bättre förstå hur problem kan uppstå och för att undvika eventuella missförstånd avseende ordalydelsen beskrivs närmast hur ett betonggolv gjuts, vilka moment som utförs, och vad de olika momenten kallas.

En utförlig beskrivning av hur betongplattor på mark tillverkas finns både i Betongrapport 13 från Betongföreningen [7] samt amerikanska betonginstitutets (ACI's) skrift "Slabs-on-Ground" [8]. I Betongföreningens rapport nr 13 kapitel 3 ges t.ex. råd för val av betongkvalité utifrån funktionskraven på golvet och i kapitel 4 beskrivs utförandet.

6.1 Metodval utifrån konstruktionsval

Vid tillverkning av betonggolv bör man tänka på att vissa konstruktionstyper är mer lämpade för vissa utförandemetoder. I Betongföreningens rapport beskrivs tre olika metoder för tillverkning av betonggolv:

- Utläggning med manuell laseravjämning,
- Utläggning med laserscreeder och
- Utläggning med banor och brygga.

Den första metoden innebär att man kontrollerar nivån eller gjuthöjden med en handburen laseravläsare. De två senare metoderna redogörs för i följande avsnitt.

6.2 Gammal beprövad tillverkning av betonggolv med banor och brygga

I Betonghandboken Arbetsutförande (B.H. AU.) kap. 19.6:1 finns en generell beskrivning av hur en golvgjutning utförs. Beskrivningen utarbetades i början på 90-talet och gäller hur golv göts och bearbetades innan stora glättningsmaskiner som man sitter på, s.k. sittmaskiner, blev vanliga hos entreprenörer. Sedan dess har även betongrecepten förändrats en hel del. Innan gjutning skall även rätt krav samt efterföljande dimensionering vara genomförd enligt B.H AU. Kap 19:3-4.

I det följande görs en kortare sammanfattning av viktiga moment i utförandet [9].

- Förberedelser för gjutning omfattar bl.a. god packning av underlag och kontroll av tillräcklig sprickbegränsande armeringsmängd och att den ligger på rätt höjd.
- Avdragsbanor är fixerade i rätt höjd och på rätt avstånd från varandra för den vibratorbalk som skall användas.
- Då betongen från betongfabriken anländer skall betongens konsistens och lufthalt - om frostbeständig betong beställts (*bör egentligen alltid kontrolleras, särskilt om man vill undvika problem med delaminering, förf. anm.*) - kontrolleras av mottagande entreprenör.
- Om betongen godkännts påbörjas gjutningen. Oftast används (*fr.a. på 80-90 talet, förf. anm.*) en vibratorbalk på 4-6 m bredd. Betongen vibreras med stavvibrator framför vibratorbalken om tjockleken är över 200 mm, med fördel redan för tjocklekar över 150 mm beroende på betongens konsistens.
- Vakuumbehandling kan därefter utföras för att tidigarelägga ytbearbetningen och för att höja betongkvalitén. Se B.H. AU. Kap 12.
- Då betongytan blött färdigt, alternativt vakuumsugits klart, och är så pass hård att man kan gå på den med avtryck på 5 – 10 mm djup, kan grovglättning

(planing) med hel skiva påbörjas. Strukturen på en grovglättad yta är i paritet med en brädriven struktur. OBS! Ingen rulle av betong skall bildas kring skivan när grovglättningen påbörjas.

- Finglättningen utförs med en tre- eller fyrbladig propeller och påbörjas i normalt 0,5 - 1 timme efter grovglättningen eller då man kan lägga hand mot betongytan utan att betong fastnar på handen. Detta benämns ibland felaktigt för ”slipning”.
- Områden som inte kan maskinglättas, t.ex. vid kanter, handglättas.
- Golvet efterbehandlas med härdning, antingen med vattendimma som tillförs så att överytan hålls lagom fuktig utan att överskottsvatten rinner ned till underliggande konstruktionsdelar. Även täckning med plastfolie eller påstrykning av membranhärdare kan användas. Härdning skall pågå minst 5 dagar efter avslutat glättning.

6.3 Modern tillverkning av betonggolv – laserstyrd mekaniserad golvläggning [10]

Med denna metod lägger man sedan 20 år tillbaka ut betydligt större ytor per tidsenhet jämfört med traditionell utläggning med banor och brygga. En av Sveriges största golventreprenörer, Linotol AB, skriver på sin hemsida att laserstyrd maskinell utläggning klarar av 12 ggr större ytor jämfört med traditionell handgjutning. Denna teknik innebär en ny standard för hur gjutning av betonggolv utförs och lämpar sig främst för gjutning av mycket stora betongplattor > 2000 m².

Den betong som används för denna typ av gjutning har flyttillsats och därför en lösare konsistens jämfört med den i traditionell golvgjutning. Den flyter ut lättare vilket besparar tidsåtgång för vibrering och utjämning av betongen. Det gör att man kan hålla ut betongen över stora ytor varefter ytorna jämnas till med en s.k. laserläggare som har en vibrerande rätskiva/brygga längst fram på fordonet. Det lägre vct:et gör också att betongen börjar brinna snabbare vilket ibland gör vakuumbehandling överflödigt. Den färska betongens egenskaper måste ligga i ett snävt intervall för att läggningen skall fungera snabbt och perfekt. Dessutom är det för det mesta stålfiberbetong som gjuts genom denna metod. Men det förekommer också att man gjuter golv med konventionell armering, både med enkel- och dubbellager av armeringsnät. Man går då ifrån vänster till höger och lägger ut armering efter hand så att man inte kör på armeringsnäten.

Tekniken beskrivs på följande sätt [11]:

Betongdumpern (BILD 4), *laserläggaren* (BILD 5) och *ströaren* är de maskiner som utgör kärnan i metodiken. Betongen levereras från fabrik till betongdumpern som lägger ut betongen med ett litet överskott genom en skruvutmatning och med en kapacitet på ca 45 m²/timme. Golvläggningen börjar lämpligen från vänster till höger och det är betongdumper och laserläggaren som bestämmer takten.

Laserläggaren, med *bryggan* längst fram, ställs på strategisk plats med sin 6 meter



BILD 4. Betongdumper, Linotol AB.



BILD 5. Laserläggare, Linotol AB.

långa teleskopbom. Bryggan, som syns längst fram i BILD 5, består av tre delar; *plogen* - som skjuter bort överflödigt betong och skapar en önskad nivå på betongen; *skruven* – fördelar och jämnar ut betongen sidledes; vibratorbalken – som komprimerar betongen. Den har tio olika effektsteg för anpassning till betongens konsistens. Betongens härdningsprocess, som varierar med recept och temperatur, avgör när de olika momenten skall utföras. Vid utläggning av golv med tjocklekar > 150 mm bör vibreringen kompletteras med stavvibrering [7].

I regel läggs även ströbetong ovanpå den färdignivellerade och vibrerade ytan med hjälp av ströaren som fästs längst ut på laserläggarens brygga.

Sista delen av processen inleds med rivning/skurning/grovglättning m h a glättningsmaskiner, i huvudsak åkmaskiner, men i trånga utrymmen med handhållna glättningsmaskiner (se BILD 6a och 6b). Grovglättning utförs med hela tallrikar inom 6 h från gjutstart. Rivningen arbetar ner ströbruket och komprimerar själva ytan. Detta moment är det viktigaste för att få en bra kvalitet på golvet. Ju hårdare man grovglättar desto hårdare blir betongytan. Sedan görs finglättningen med ställbara vingar inom 10 timmar från gjutstart. Avslutningsvis duschas golvet med vatten dimma och täckning med plast under två veckor innan golvet kan tas i bruk.



BILD 6a. Sittmaskin.



BILD 6b. Handhållen glättningsmaskin.

De sista åtgärderna skiljer sig inte från traditionell handgjutning förutom att man använder sig av sittmaskiner som utför arbetet betydligt snabbare än vid handhållen maskinglättning. Se BILD 6a och 6b.

Senare i avsnitt 7.4. redovisas bl.a. två undersökningar på modernt tillverkade betonggolv. I det ena fallet har ströbetong använts, men i det andra fallet göts en 80 mm tjock betong med $d_{\max}$ 8 mm utan ströbetong. Båda dessa objekt tillverkades med moderna betongrecept och glättades med sittmaskin, BILD 6a.

6.4 Tidpunkt för glättning av betonggolv

Det har gjorts undersökningar för tidpunkt när grovglättning respektive finglättning lämpligen skall starta och inom vilken tid den skall avslutas, det s.k. glättningsfönstret. Givetvis beror det både på betongens egenskaper och omständigheterna - temperatur, vind, fuktighet o.s.v..

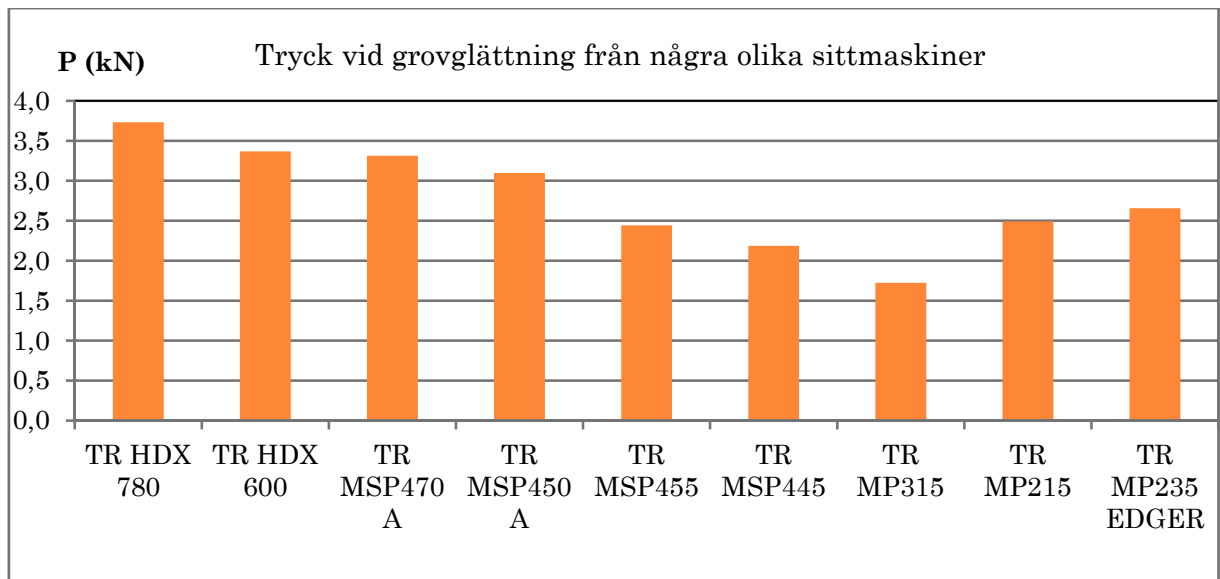
I B.H. Arbetsutförande, tabell 19.5: 1, ges följande anvisningar för tidpunkt när glättning skall börja. Se TABELL 1.

TABELL 1: Olika materialfaktorers inverkan på tid till maskinglättning vid lufttemperaturen +5°C, ("nominell" tid till glättning ca 10 timmar). [Petersson & Johansson, 1991]

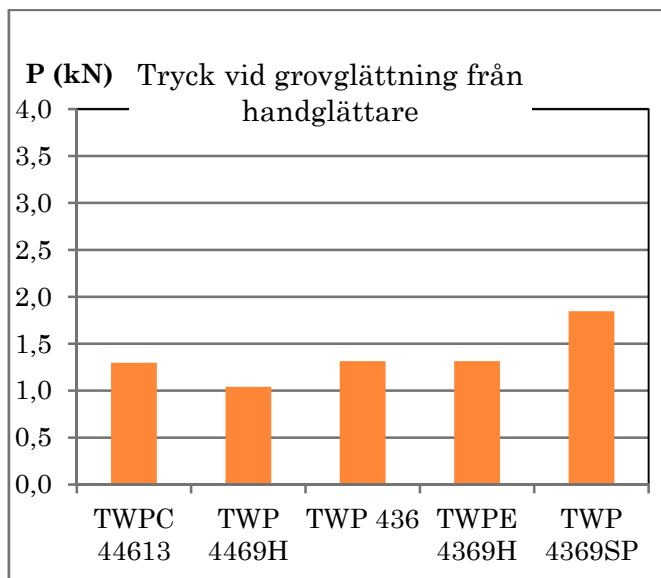
Ändring	Minskning av tid till maskinglättning
Betongtemperatur +15°C till +30°C	ca 6 timmar
Std-cement* till SH-cement	ca 3 timmar
K30 till K40	ca 2 timmar

En mer exakt metod, förutsatt att en homogen härdning av betongens tvärsnitt äger rum, är att uppskatta hur långt härdningen kommit genom att göra olika typer av intryck på betongen. Rent praktiskt ute på arbetsplatserna undersöker hantverkarna härdnandets förlopp genom att försiktig gå på betongen såsom redan beskrivits i föregående avsnitt: "Då betongytan är så pass hård att man kan gå på den med avtryck på 5 – 10 mm djup, kan grovglättning (planing) med hel skiva påbörjas." På liknande sätt beskrivs i [3] och [8] att ett skointryck inte skall ge djupare intryck än 6 mm på den vibrerade och utjämnade ytan för att grovglättning skall kunna starta..

Provningsmetoder för bestämning av lämplig tidpunkt för start av ytbearbetning har också utvecklats. I CBI's rapport "Styrning av glättningshårdhet" från 1991 [12] används fallviktsmätning för bestämning av tidpunkt av start för grovglättning. Ett lämpligt riktvärde för start av grov- respektive finglättning anges där vara ca 4 h respektive 5 h efter vibrering. Metoderna är inte generellt gällande utan beror av betongsammansättningen. Se avsnitt 8.4.



FIGUR 1. Tryck mot betongytan från olika typer av sittmaskin. Under staplarna anges beteckningarna för respektive maskin.



FIGUR 2. Tryck mot betongytan från olika typer av handhållna maskinglättare. Under staplarna anges beteckningarna för respektive maskin.

Utifrån data på vikt och ytan på hel tallrik/skiva gjordes en jämförelse på trycket som sitt- respektive handhållna maskiner utövar på betongytan vid grovglättning. Data inhämtades från en amerikansk återförsäljare [13]. Se FIGUR 1 och 2. Från figurerna ser man att trycket mot betongytan från de största åkmaskinerna är upp till 3 ggr större än från de handhållna.

När det gäller finglättningen beror trycket på hur man vinklar de s.k. propellerbladen. Trycket mot ytan blir givetvis mycket högre jämfört med i figurerna ovan, men den relativa skillnaden mellan handhållna maskiner och sittmaskiner blir ungefär densamma.

7 UNDERSÖKNINGAR

Ett frågeformulär med frågor angående delaminering skickades ut till entreprenörer och svaren sammanställdes. Intervjuer genomfördes också med några entreprenörer. En litteraturstudie av problemet i den vetenskapliga litteraturen genomfördes liksom en genomsökning av CBI-rapporter i ämnet. Dessutom redovisas resultat från två (tre) skadeutredningar med delaminering i betonggolv som har utförts under de senaste två åren.

7.1 Erfarenheter av delaminering från entreprenörer

Ett frågeformulär angående erfarenheter från problem med delaminering skickades ut till åtta olika entreprenörer i betonggolvsbranschen. Kontaktuppgifter hade förmedlats via återförsäljaren Modern Betongs omsorg. Frågorna i formuläret presenteras i TABELL 2.

TABELL 2. Frågor till golventreprenörer angående problem med delaminering.

1. Har ni varit med om delaminering problematik?
2. Hur många ggr? (en gång, flera ggr, ofta)
3. Finns golvet kvar att beskåda (ej överbyggt)? Kan man komma och titta?
4. Finns någon dokumentation? Betongrecept, gjutdatum, när uppkom problem?
5. Vad är er egen förklaring till att problem uppstod? (anonyma svar i en eventuell rapport)
6. Var levererad betong bra? Vem levererade betongen?
7. Känner er betongleverantör till att ni har fått problem?

Sex av de entreprenörer som fått frågeformuläret intervjuades per telefon. Övriga hade inte tid till att ordna intervjutillfälle. Dessutom gjordes besök till tre av dessa entreprenörer med vilka utförligare intervjuer genomfördes.

7.1.1 Svar från frågeformulär

I TABELL 3 redovisas svaren från de intervjuade entreprenörerna. Intervjuerna utfördes under sommar och höst 2013.

TABELL 3. Kort sammanställning av svar från frågorna i TABELL 2.

Fråga	Sammanställning av svar
1	Fem uppgav att de haft problem med delaminering, både i golv med ströbetong och i monolitiska betonggolv. En hade haft ett projekt med avflagning på hårdbetong men där är problem med släpp och sprickor vanligare. Problem på vanlig betong har fr.a. förekommit på "fetare" betong i hållfasthetsklass C40/50 och därutöver. En annan uppgav att han framför allt har sett dessa problem i ströbetong och att problemen har tilltagit på sista tiden. När de började använda ströbetong för 10 år sedan funkade det mesta utmärkt trots att de då var oerfarna hantverkare. Nu vet de precis hur de skall göra, ändå har problemen tilltagit. Denne entreprenör hade endast erfarenhet av ett fall med delaminering på konventionellt betonggolv.
2	En entreprenör kunde namnge ett flertal projekt de senaste åren - <i>(här var det svårt att få exakta uppgifter eftersom ingen hade dokumentation eller tid att leta reda på sådan*.)</i>
3	En entreprenör hade nyss erfarit problem och hade ett golv med skador och bjöd in till besiktning.
4	I det fall som nämns i föregående fråga fanns data tillgänglig fortfarande. En hade gått ifrån byggcement och bytte alltid till anläggningscement i betongreceptet till sina

	projekt. Dock dyrare eftersom arbetet tar 4 timmar längre.
5	En annan entreprenör menade att problem med delaminering inte förekom i konventionella monolitiska betonggolv innan byggcementen lanserades. (<i>Inte samma entreprenör som i föregående fråga*.</i>) En annan entreprenör uppgav att han fått problem efter 2006 då han skaffade de stora sittmaskinerna och att de tilltagit sedan dess. En tredje sade att han möjligen hade vibrerat för mycket med en vibrobalk.
6	<i>Dålig fråga*.</i> Många olika svar. Flera olika betongleverantörer namngavs.
7	Generellt ja.

*) Författarens egna kommentarer.

Dessutom intervjuades en ansvarig leverantör av betong på betongfabrik. Han berättade om ett stort projekt där man fick stora problem med delaminering i ströbetong för 6-7 år sedan. Då gjordes ändringar i receptet från en modern sammansättning med mycket finmaterial, cement och vatten till en mer gammaldags betong med mer grovballast. Betongen blev då mer permeabel och man erhöll då blödning i betongen. Då försvann problemen med delaminering i det projektet. Sedan dess har man fortsatt leverera mer ”gammaldags” proportionerad betong i golvprojekt. I nämnda projekt tog man även bort tillsats av stabilisatorer¹ i betongreceptet.

Han berättade även att många entreprenörer i golvbranschen är skeptiska till polykarboxylateter (PCE) baserade superplasticerare. Man menar att dessa tillsatsmedel gör betongen för tät upptill efter ytbehandlingen, vilket orsakar ansamling av porvatten i ett skikt under ytan vid fördröjd blödning. Detta sker särskilt i betong med stabilisatorer. De senaste 2 - 3 åren hade denne betongleverantör inte hört talas om några problem med delaminering av golv.

7.1.2 Intervjuer

BILD 7 visar de utförare, hantverkare och entreprenörer som det gjordes längre intervjuer med.



BILD 7. De tre hantverkare som tog sig tid till att bli intervjuade.

¹ Används för att öka betongens sammanhållning och stabilitet.

7.1.2.1 Intervju med hantverkare Gustafsson, Linotol AB 1 oktober 2013

Gustafsson är affärsområdeschef för sektionen "Betonggolv och konstruktioner" på Linotol AB och har stor erfarenhet av golvläggning med betong.

Gustafsson: "Det finns två huvudorsaker i utförandet som kan orsaka delaminering,

- dels att betongen härdar olika fort och lokalt bildar "hot spots" där den härdar fortare ("crusting" eng.). Det blir som "öar" som gör att ströbetongpulvret får svårt att arbetas in ordentligt. För vanlig betong får detta till följd att blötare betong slipas över dessa redan styvnade varma fläckar. Om man försöker glätta över sådana fläckar kommer delaminering att uppstå.
- dels att man ibland (särskilt förut när man strödde för hand) måste gå på betongytan vilket belastar betongytan och en grop skapas som sedan täcks över när man slipar. Dock tränger fukt in mellan slipat/glättat område och nivån på den nedtrampade försänkta betongytan. Mindre delaminerade släpp bildas. En annan tredje orsak till uppkommen delaminering kan vara uppkomst av s k "flytbomber", eller ansamlingar av luft."

Gustafsson menar att tillsatsmedel, särskilt misstänker han flytmedel av typen polykarboxylater och polykarboxylatetrar, orsakar att mer luft än normalt blandas in i betongen.

"Denna luft ansamlas högre upp vid utläggning och dessa ansamlingar, eller 'flytbomber'², lägger sig som ett luftskikt som orsakar delaminering efter att golvytan har glättats. Man kan se när luft kommer upp, då blir den 'gul' eller ljusare."

"Förr, då man strödde för hand, såg man direkt var torra öar bildades och man visste att det där kan uppkomma 'släpp', därför blötte man upp lokalt och skurade in strö på dessa fläckar för att undvika delaminering efter slipning och glättning. Idag strör man tidigare med maskiner när betongen är lite blötare, man får en jämnare utläggning men man ser inte lika tydligt var "öar" bildas. Därför upptäcker man inte förrän allt är klart om det har blivit släpp eller delaminering på vissa ställen. Sådan delaminering beror egentligen på betongens egenskaper och inte på utförandet."

"Förr vakuumsög man betongen och det var lättare att se var betongen blev för torr. Man kanske använde sig av K25 (C20/25) eller K30 (C25/30). Idag använder man istället ofta C28/35 som är minst så stark som K30 vilket gör att man i praktiken får ännu starkare betong oftast eftersom man inte får ha avvikelser neråt."

Gustafsson påpekar att han inte fått ett enda protokoll på tryckhållfasthet som visar under 40 MPa. (*Detta skapar ju även problem med otillräcklig mängd sprickbegränsande armering.*³)

² Borde kanske snarare kallas för 'luftbomber'? författarens egen kommentar.

³ Författarens anm.

”Problemen började framför allt bli större när betong med krossballast, byggcement och flytmedel hade levererats. Dessutom verkar det som om flytmedel kan föra med sig att för mycket luft blandas in i betongen vilket gör den svårare att kompaktera och åstadkomma en fin, jämn och hård yta. Betongen uppförde sig annorlunda. Idag har man dock kunskapen om hur gjutning skall utföras även med denna typ av betong på Linotol. Erfarenhet har gett kunskap och färdighet,” menar Gustafsson.

”Idag skall man gjuta inomhus under tak och i vindsydd. Förr göt man ibland även under bar himmel. Men det var svårt, man fick bara på kanske 2-3 kg ströbetong/m². Ibland varierar betongkvalitén mellan leveranserna, trots att samma betong har beställts⁴. Enligt specifikation rekommenderas att man strör 4-6 kg/m² (av Mastertop LS 135) men det räcker gott med 3-4 kg/m² och det är då lättare att få till ett bra resultat⁵. När man strör på för mycket blir det ”lerigt”. Materialet glider runt när man åker på den, den skjuter materialet framför sig, det vallar, och materialet går inte in ordentligt i konstruktionsbetongen. Man skurar inte in strölagret ordentligt. Man undviker därför att strö på för mycket torrpulver.”

”Man börjar skura (*grovglätta, förf. anm*) ca 6 timmar efter gjutning och strö. Idag är det lätt att kontrollera hur mycket strö man lägger ut med maskinerna. Idag är det aldrig problem med att det inte är genomfuktigt.”

Man kan fråga sig om detta med att lägga ut mindre ströbetong också blev nödvändigt efter övergång från standardcement och singel till krossballast och byggcement? Dvs. använde man sig av 4-6 kg/m² förut? Till dessa frågor kunde inte Gustafsson ge några klara svar. Men en lägre vattenmängd och mindre blödning i nyare betong ger ju mindre våta ytor att lägga ströbetong i.

Han gav sedan exempel på ett par misslyckade gjutningar med delaminering. Dels en gjutning i Örebro, delaminering vid slipning⁶. Han misstänkte att det berodde på för mycket luft i betongen och han visade upp en borrhärna där man med blotta ögat kunde se att betongen hade ett luftblåsor, kanske upp emot 10%. Han nämnde också ett projekt i Göteborg där man fick dålig betong som separerade och som sedan delaminerade efter glättningen. I båda fallen fick man åtgärda golvet med en epoxibeläggning.

”Trampsläpp kan man få lite då och då. Jag har börjat med gjutskor. Det måste man göra ute längs kanterna och där blir det ofta mer ’slam’. Förr såg man problem direkt, när man vakuumsög, om det blev för torrt. Man åtgärdade direkt. Idag är

⁴ Detta påpekades även av entreprenör 2, Sven Hasselström, Tråvad Bygg och Betong.

⁵ Sven Hasselström resonerar likadant.

⁶ Golvet slipades alltså ned abrasivt. Men det delaminerade loss flak hela tiden.

det alltid genomfuktigt. Ju starkare betong man har, ju lägre vct, desto större risk att problem dyker upp.”

På en fråga om sittmaskinerna svarar *Gustafsson* att maskinerna väger mellan 3-800 kg och att den bara står på tallrikarna. De har haft maskinerna i över 15 år och använt sig av dem, olika maskiner med tallrikar med diameter på 600, 800 och 1600 mm. Jämför med FIGUR 1 och 2. Avslutningsvis säger *Gustafsson* att: ”Förr fanns inte släpp på ströbetong.”

7.1.2.2 Intervju med entreprenör Sven Hasselström i Kvänum, 1 oktober 2013

Sven Hasselström har arbetat med betong sedan 1975. Han har nu snart 40 års erfarenhet. Han har mestadels sysslat med golvläggning under denna tid. Delaminering är ett problem som han sällan eller aldrig stött på under sina första 20 år i branschen.

Hasselström började med hårdbetong 1995, fr.a. ströbetong. Han hade aldrig problem med delaminering, men han hörde att en del konkurrenter med hårdbetonggolv hade problem med delaminering. Själv hade han dock inga problem förrän han skaffade stora sittmaskiner 2007. Då dök problem upp ibland och efter det har problemen uppstått med större frekvens.

En förklaring till problemen kan alltså vara, enligt *Hasselström*, att åkmaskinerna är tunga och att man därför måste vänta lite längre innan man slipar ytan. Tiden för slipning och glättning, glättningsfönstret, blir därför kortare och betongen är inte lika smidig att bearbeta.

Hasselström berättade om ett par misslyckade projekt: ”På hösten 2012 i Arentorp, Vara, uppstod stora delaminerade kakor på vanlig betong vilket berodde på att solen gick upp och torkade betongen. Nu vattnades det i bortre delen med slang och där gick det bra, men i den sektion man göt först blev det stora släpp. Jag trodde att det var för mycket slam på ytan i betongen i den sektionen. Vi försökte få ihop det och skura igen det. Men slammet/betongen lade sig i hålen. Men det släppte sedan eftersom det var för dålig bindning i slammet. Istället kanske man skulle ha tagit bort slammet och lagt i cementslamma/cementsluring. Det har vi gjort på andra ställen”, resonerar *Hasselström* och fortsätter:

”Sedan slipade man golvet med HTC slip. Man hade knappt gjutit färdigt innan de började slipa. Det gick väldigt olika bra att slipa. Vissa områden gick hur lätt som helst att slipa, medan på andra platser, t.ex. längs kanter hade man stora problem med släpp. De skador som fanns lagades senare med industrispackel, Finja 240, ett

cementbaserat spackel.” Det tycker *Hasselström* har fungerat bra. Man hade också tidigare ett spackel från Tyskland, Uzin.

”I Skara (*ett av skadefallen som redovisas i avsnitt 7.4.*) har man nu senare även sett att det fanns problem med delaminering också i den andra delen av byggnaden, där plåtslageriet skall hålla till⁷. Det lagades också med industrispackel Finja 240.

En utläggning av betonggolv nyligen i en nyutbyggnad hos ”Swegon” (Kvänum) gick däremot ganska bra, men där användes endast ca 2 kg strö per m², dvs endast halva rekommenderade mängden.”

7.1.2.3 Intervju med entreprenör Aaro Kejonen, Scangolv AB, Gnosjö 2 oktober 2013

Aaro Kejonen har 40 års erfarenhet av tillverkning av betonggolv och har jobbat med en mängd olika byggnadsprojekt runt om i Sverige.

Kejonen: ”Det finns golvföretag som vägrar lägga ströbetong eftersom de är rädda för att få problem. Problem ger dyra reklamationskostnader.” *Kejonen* har kämpat med ströbetong ändå, men också råkat ut för rejäla misslyckanden, t.ex. i Ljungby för Electrolux där hela golvet blev fel. Han berättar:

”Det var vinter och kallt. Jag var tveksam att påbörja uppdraget. Jag var där ett par veckor innan och var redan medveten om att det var ett svårt uppdrag. Jag beordrade uppvärmning av plattan, men där fanns ännu inga dörrar att stänga igen byggnaden. När man grävde för att kontrollera om där fanns tjäle upptäcktes endast ’iskristaller’, som man sade.” *Kejonen* frågar sig retoriskt ”Men vad är skillnaden på tjäle och iskristaller?”

Efter första gjutningen såg de att de fick en väldig blödning i betongen. *Kejonen* menade att det var fukt från marken, tjäle, som trängde upp genom betongen. Han ville stoppa. ”Det kommer inte fungera”. Men han blev beordrad att fortsätta. Han beordrade minskad vattenmängd och tillsats av flytmedel. Efter det gick gjutningen bra. *Kejonen* trodde att allt var frid och fröjd. Man hade lagt på membranhärdare. Han åkte dit dagen efter och tittade och såg ett par enstaka skador. En vecka senare åkte han dit igen och då var golvet fullt av delamineringsskador. Till slut var alltihop skadat. Det var ströbetongen som hade släppt. Golvet blev reklamerat och man fick ta dit en epoxifirma som lade epoxi för 700 tkr över hela golvet. (*Orsaken till skadorna var alltså försenad blödning som kommit upp och fastnat under det kompakterade glättade ytskiktet. Förf. anm.*)

⁷ Detta refererar till golvet i en billackeringsverkstad från vilken en skadeutredning presenteras längre fram i rapporten.

Kejonen konstaterar att det är oftast på vintertid som det blir problem med släpp. Han beställer dock alltid varm betong med 20 gradigt vatten och det blir då också lite dyrare. Ibland måste man t o m tillsätta accelerator för att hinna med innan nästa gjutetapp börjar.

”Om det är lite släpp, som man ser efter färdig glättning, så brukar man ta redan första natten att rätta till det genom att ta bort delamineringen och tillsätta ny ströbetong som man blöter upp och genom att skura upp ytan under får man det att fästa. Sedan handslipar man över skadorna. Det är arbetsamt men det brukar fungera och hålla för det mesta. Men om det är större släpp är det ingen idé att försöka.” Se exempel i BILD 8.

Han berättar sedan om ett annat exempel om en betongplatta i Ljungby som var 120 mm tjock och enkelarmerad. Men där var problemet framför allt krympsprickor.

Ett annat exempel var Lidhults kök för två år sedan, mer på värkanten. ”Där var grundplattan av fiberbetong, stålfiber. Även här var marken var kall och fuktig. Men här släppte det inte i ströbetonglagret utan i fiberbetongen ca 10 mm in i betongen. Fibrerna hängde kvar i de delaminerade flaken. De djupaste hålen var över 10 mm. Även här togs beslut om lagning med epoxi”, berättar han.

”Betongleverantören Veinge Betong var dit och undersökte skadorna och tog med sig bitar för att undersöka skadorna närmare för att se om det var något fel på den. Men nu har det gått två år och de har fortfarande inte hört av sig”.

”Tidigare lade man ofta ett 10 mm lager av hårdbetong på färsk betong. Sedan vakuumsög man vilket gjorde att hårdbetongen sögs fast mot konstruktionsbetongen. Det brukade fungera bra. Det blev som en monolitisk enhet av det hela,” berättar han.

Men 2006 på sommaren hände det första gången att det inte funkade ihop. Det var på Transab i Jönköping och Jiba, numera Skanska, levererade betongen. Man försökte på alla möjliga sätt få ihop betongen. Man använde då Mastertop Special som hårdbetong.

”På Transflex i Jönköping för sju år sedan hände samma sak som på Transab. Betongleverantör var E-Betong. Man avbröt arbetet efter tre st gjutningar.” Man tog till experter och undersökte betongen, men enligt *Kejonen* undersöktes det inte ordentligt. Han såg att vid avloppet från slangen till vakuumsugen var det som vitt ”mögel” avlagrat på makadammet bredvid betongplattan, som följt med vattnet. *Aaro* kontrollerade också under flak som delaminerat loss. På undersidan av dessa fanns också detta som såg ut som ”vit mögelsvamp”. Jag undrade om det möjligen var kalkfiller⁸.

⁸ Författarens anm..



BILD 8. Lagning på ett golv i Gnosjö av en delaminering som upptäcktes efter att golvet hade gjorts färdigt. Lagat med samma material som golvet göts med, Mastertop 135.

”Första gången vi fick problem med ströhårdbetong var 2002. Det var på en betongplatta till ett Åkeri. Då släppte största rutorna 6 x 6 under sittmaskin. Hårdbetongtillverkaren (Lindec AB) skyllde på oss och betongleverantören skyllde också på oss. Det var vi som fick stå för kostnaderna, som vanligt” säger han och menar att orsaken berodde på att man ändrat receptet på ströbetongen, Herkulit Special.

Kejonen lägger till: ”Dagens kunder vill ha polerade ytor även om gjutningsförhållandena i deras lokaler kan vara bedrägliga. Deras referens kan vara någon som har gjutit under sommartiden. Men vi får bära ansvaret.”

Erfarenheter av fenomenet delaminering i den vetenskapliga litteraturen

Delaminering av betonggolv beskrivs både i handböcker, nyhetsbrev, rapporter, tidningsartiklar och sparsamt nämns det även i vetenskapliga artiklar. Dock verkar det inte finnas mycket skrivet om fenomenet från första hälften av 1990-talet och tidigare.

7.1.3 Om delaminering och blåsor i rapporter, handböcker och tidskrifter

Det amerikanska betonginstitutet, American Concrete Institute ACI, gav 2004 ut en guide för produktion av betonggolv och plattor på mark [14] i huvudsak inriktad

till projektledare. På samma tema utkom 2010 ytterligare en guide för produktion av betongplattor på mark men som mer inriktades till hantverkarna i ”*Concrete Craftsman Series*” [8]. Innehållet i dessa handböcker är i stora delar lika – de handlar ju om precis samma sak. Rapporterna har dock helt olika författare. Ingen av kommittémedlemmarna för skrivandet av handböckerna är med i båda kommittéerna vilket visar att problemet är utbrett och välkänt. Delaminering nämns i den första guiden [14] under samma rubrik som blåsor, men i den nyare [8] åtskiljer man mellan blåsor och delaminering med varsin underrubrik, även om de oftast har samma orsaker. Skillnaden består i att delaminering är större och mer omfattande. Delaminering sker på större djup, mellan 3 – 50 mm eller mer.

I Betongrapport nr 13 står det att blåsor som bildas under inskurate ytskikt av ströbetong uppkommer av det ångtryck som uppstår från värmen av den i bulken brinnande betongen. Ångan fastnar under den bearbetade ströbetongytan [7].

Förutom dessa handböcker om betonggolv finns några konferensbidrag [2, 15, 16] och artiklar [17-19] i tidskrifter som mer specifikt diskuterar orsaker till delaminering och hur man i ljusmikroskop bedömer skadeorsak på uttagna betongprover från skadade golv [2, 19, 20].

En sammanställning från ovan nämnda referenser av orsaker till och åtgärder för att undvika delaminering görs i följande två avsnitt. Korta sammanfattningar av detta finns dessutom tillgängligt i olika betongorganisationers nyhetsbrev på internet [6, 21].

7.1.4 Orsaker till att delaminering i industrigolv uppkommer

I huvudsak orsakas delaminering och blåsor på betonggolv när blödningsvatten eller luft ansamlas under det översta bearbetade ytlagret i betongen. En förutsättning för att delaminering inte skall uppstå är att luft eller vatten i betongen kan sippra ut från betongen. En betong som blöder och sedan börjar härda har bättre förutsättningar för att inte problem med delaminering skall uppstå vid eller efter ytbearbetningen [8].

Men det kan även ske av en annan orsak då ytan torkar eller härdar snabbare än bulkbetongen därunder och s.k. ”hot spots” bildas (skorpbildning/”*crusting*”) [8, 11, 19]. Detta får till följd att om blötare betong slipas över dessa redan styvnade varma fläckar uppstår delaminering. En betong som har en långsam sättning med skorpbildning är alltså svårare genomföra skurning och slipning på vid rätta tidpunkter [8].

Vatten och/eller luft fastnar dessutom oftare under ytlager i betong som är segare och klibbigare, dvs som har en stor andel finmaterial.

En annan orsak är för lite eller för mycket vibrering så att inte tillräckligt med luft frigörs respektive att luftblåsor bildas samt att för mycket finmaterial ansamlas upp mot ytan (ballastseparation).

Dipayana Jana [2] redogör för alla typer av delaminering som kan uppstå och nämner bl.a. att utomhus, på brodäck och i parkeringsgarage, orsakas delaminering av armeringskorrosion och frys-tinings cykler. Han ger sedan följande generella orsaker till delaminering på betonggolv inomhus:

- Luftporinnehåll och betongrecept (betongrecept).
- Tajming, arbetstid, och ytbearbetningsteknik. (utförande).
- Väder- och markförhållanden när betongen skall läggas (t.ex. härdning från ytan och neråt.)
- Faktorer som inverkar på blödningshastighet, -mängd, -tid och initial sättningstidpunkt (dvs. den första och sista faktorn av de tre ovanstående faktorerna)

Sannolikheten för att problem med delaminering skall uppstå beror alltså av omständigheterna, både betongens egenskaper, utförandet och även väderförhållandena. Beträffande betongreceptet bedöms luftinnehållet vara den främsta orsaken till problem med delaminering [18, 19]. Detta exemplifieras när *Jana* mer i detalj beskriver orsaker till hur delamineringen uppstår:

- I. Fysisk påverkan med skjuvkrafter från glättningen.
Det av glättningen översta kompakterade lagret utövar en dragkraft på det opåverkade lagret längre ner vilket skapar en svag gränzson mellan dessa två lager. Detta har kallats för tuggummi effekten. Desto tidigare glättningen (skurningen) startar och ju högre glättningstrycket är mot betongen, desto större är risken att delaminering uppstår. Delaminering som orsakas av krafter från glättningen uppstår framför allt i betong med tillsatt luft, eftersom hårdhetsskillnaden mellan det övre kompakterade lagret och den underliggande betongen blir större i betong med tillsatt luft. Luft i det översta kompakterade skiktet pressas också ner och fastnar kvar under det kompakterade lagret när trycket från glättningsmaskinen släpper.
- II. Reducerad blödningshastighet pga. påverkan från stort luftinnehåll i betongen.
Minskad blödningshastighet kan medföra att skurning/glättning påbörjas innan betongen har blött färdigt. Det gör att blödningsvatten fastnar under det redan bearbetade tätare ytskiktet. Denna typ av delaminering kan observeras i tunnslip med skjuvade förlängda luftbubblor i skiktet mellan det bearbetade ytlagret och den opåverkade betongen, parallella med själva delamineringsskiktet.
- III. För seg betong med mycket luft.

Seg betong med för mycket luft kan vara mycket svår att bearbeta. Glättningen och skurningen kommer ta för lång tid och under för stort tryck vilket i sin tur ökar potentialen för delaminering.

Orsakerna I-III är ofta alla tre förekommande då problem med delaminering uppstår.

I en annan artikel som heter ”*Air Entrainment and Delaminations*” [19] eller översatt ”Lufttillsats och delaminering” beskriver *David R. Lankard* svårigheter vid hårdglättning av betonggolv med lufttillsats. Utifrån sin egen erfarenhet slår han fast att delaminering i betong är vanligast i betong med lufttillsats. Han sammanfattar också ovan redan givna fakta om delaminering t.ex. den rådande uppfattningen om att tidig glättning försluter översta skiktet så att blödningsvatten fastnar och att ett försvagat plan skapas i vilket delaminering då uppstår. Men *Lankard* betonar att även om man ofta menar att för tidig start av ytbehandlingen anges som orsak till misslyckanden kan det också bero på andra variabler såsom betongrecept, golvdesign, projektplanering och omgivande väderbetingelser.

7.1.5 Råd för att undvika att delaminering uppstår

Generella råd i [14] för att undvika delaminering:

- Använd inte betong med för lös konsistens, med för högt vatteninnehåll, högt luftinnehåll⁹ eller för hög andel finballast.
- Använd rätt mängd cement i receptet, med¹⁰:
 - $d_{\max} = 9,5$ mm, 360 - 415 kg cement/kubikmeter,
 - $d_{\max} = 19$ mm, 320 - 375 kg cement/kubikmeter,
 - $d_{\max} = 37,5$ mm, 280 - 330 kg cement/kubikmeter.
- Vid kall väderlek, värm upp marken. Vid varm, torr och blåsigt väderlek, använd avdunstningsminskningsmedel (*evaporation reducer/monomolecular film*), dimspridare, eller täck över betongen med plastfilm.
- Placera inte betongen ovanpå en plastfilm. Ovanför en sådan fuktspärr mot mark skall minst 100 mm fyllmassor vara packade.
- Överarbete inte betongen så den separerar. Vibrera noggrant överallt för utfyllnad och frisläppande av luft i betongen, men alltså inte för länge.
- Påbörja inte ytbearbetningen (grovglättningen) för tidigt. Ett fotavtryck skall ge ett ca 6 mm djupt avtryck. För maskinbearbetning måste man vänta längre, till fotavtrycket endast är ca 3 mm djupt.
- Använd grov träbräda vid skurning av vanlig betong för att undvika tidig tätning av ytskiktet. I lufttillsattbetong bör verktyg av aluminium eller

⁹ För normal betong skall lufthalten inte överstiga 3 % om man vill hårdglätta betongen (sid. 30). Luftporbildare skall inte föreskrivas eller användas i betong där en slät, tät och hårt glättad yta eftersträvas eftersom risk för delaminering föreligger. Dessa problem vid ytbearbetningen riskerar uppträda närhelst lufthalten överstiger 3 %. Det gäller särskilt vid användning av ströbetong.

¹⁰ Mått på ballast utifrån amerikanska standarder.

magnesium användas. Ströbetong är känsligare för delaminering om inte grovglättningen startas vid rätt tidpunkt.

- Använd korrekt glättningsteknik och starta och avsluta bearbetningen vid rätt tidpunkt.

Man skriver dessutom att finglättningen skall utföras genom att man styr upp bladvinkeln allteftersom ytan skall glättas hårdare och hårdare. Man skriver vidare att de flesta skickliggjorda golvläggare vet när det är dags för en betongyta att grovglättas respektive finglättas, men att omständigheter ibland är utom deras kontroll.

En lösning på för seg och tuggummiliknande betong är att ersätta ca 60-120 kg sand i betongreceptet med motsvarande mängd av den minsta grovballasten (4 - 8 mm) [14]. I likhet med vad betongleverantör i avsnitt 7.1.1. berättat att man gjorde.

Följande råd ges i [8] för att undvika att delaminering skall uppstå:

- Använd inte betong med lufttillsats som skall hårdglättas, dvs. glättas med upprepade passager.
- Vänta med ytbearbetningen så länge som möjligt, till betongen verkligen har satt sig och all eventuell blödning har upphört. Justera glättningsbladen till att vara platta för att behålla ytan öppen.
- Vänta med ytbehandling så länge som möjligt då underlaget/marken är kall, om flygaska ingår i betongen och om betongplattan är tjock, för att undvika att betongen härdar uppifrån ytan och ned.
- Om betongen läggs mot tätskikt av något slag måste man också vara beredd att vänta längre med att påbörja ytbearbetningen.
- Undvik betong med retarder eller med retarderande vattenreducerande tillsats (flytmedel).
- Om det råder varma och blåsiga förhållanden, vänta med ytbearbetningen så länge som möjligt. Överväg att lägga om schemat på sådant sätt att ytbehandlingen kan ske när det är svalare och vindstilla.

I vissa fall är det föreskrivet att betonggolvet måste ha lufttillsats för att uppfylla kraven vid konstruktion eller i bruksskick, som t.ex. vid konstruktion på vintern eller vid byggandet av en ishall. Man förbiser då ofta risken med delaminering vid ytbearbetningen. Man bör då följa följande råd varav en del åsidosätter normal praxis för ytbehandling.

- Utför två skurningar/grovglättningar med normalt tidsintervall emellan och gör den andra körningen rätvinkligt mot den första körningen.
- Vänta med glättning till dess att betongen är för styv för att sluta sig, så den kan fortsätta andas.
- Utför sedan finglättning på samma sätt som grovglättningen, två ggr rätvinkligt mot varandra, med normalt tidsintervall mellan glättningarna.

- Om en extra hög ytfinhet krävs, tilta upp glättningsbladen och kör en extra gång.

Man skall dock vara medveten om att ett utförande enligt ovan med fördröjd skurning efter att ytan satt sig kan medföra att kraven på planhet är svåra att uppnå [8].

7.1.6 Analys av delaminering i tunnslip

Genom petrografisk analys i mikroskop av tunnslip kan orsakerna till delaminering tydligt observeras. (Tunnslip är tunna nedslipade skivor från betongprover, endast ca 25-30 mm tjocka, vilka limmats fast mellan tunna glasskivor, objektglas och täckglas). Jana nämner fyra olika karakteristika i mikrostrukturen i ett prov med delaminering:

- Utarmning eller total frånvaro av luft från översta kompakterade skiktet gradvis inåt i betongen.
- Det översta kompakterade skiktet med lägre vct och tätare mikrostruktur.
- Delamineringssprickan som går parallellt med ytan på ca 3 – 20 mm djup.
- Skjuvade oregelbundna luftporer strax under delamineringssprickan.

Lankard [19] definierar dessa olika typer av lager som uppstår i hårdglättade golv ännu utförligare. Han delar också in de typiska lagren i olika zoner och ger dem namn. Se TABELL 4 där hans definitioner har översatts till svenska.

Lankard utelämnar beskrivningen av det tomrum som själva delamineringssprickan utgör och *Jana* utelämnar i sin beskrivning det opåverkade området en bit under delamineringszonen.

TABELL 4. Karakterisering av distinkta betonglager i lufttillsatt hårdglättad betong.

Betonglager	Karakteristik jämfört med ursprunglig betong
Densifierade (övre) skiktet (DSL) (Kompakterade ytlagret)	• Utgör det nötningstålga ytlagret • Betydligt högre cementpastainnehåll • Frånvaro av luft, tillsatt och naturlig • Typiskt 1 - 4 mm tjockt, men kan bli 8 mm tjockt • Ligger över det distorderade lagret (DT)
Distorderade lagret (DT)	• jämförbart cementinnehåll som i blandad betong • betydligt lägre innehåll av tillsatt luft • jämfört vct som i blandad betong • Innehåller distinkta stukturer såsom oregelbundna luftblåsor, rewor och cementpasta/ballast kaviteter • Typisk tjocklek är 1 – 10 mm, men kan vara upp till 22 mm tjock

Glättningspåverkade zonen	• Område från ytan som påverkats av glättningen, dvs. både DSL och DT • Tjockleken vanligen 2 – 14 mm men upp till 30 mm tjockt.
Ostörd betong	Utgör resten av betongen under den glättningspåverkade zonen

7.1.7 Hur delamineringen formeras i den plastiska betongen

I [2] ges följande fem olika förslag på hur delamineringen uppstår i betongen.

- A. Tuggummieffekten, dvs. när glättningsbladen utövar sin skjuvning över ytan uppstår först en tryckkraft och sedan en dragkraft i underlaget. Betongen en bit ned (DT) ger vika i en zon under det glättade kompakterade övre ytlagret (DSL) och en släpp uppstår lokalt. Detta uppstår oftare då glättningen startar för tidigt och i betong med lufttillsats.
- B. Sammanslagning av små släpp – oregelbundna luftporer och cement/ballast kaviteter - som uppstår pga. skjuvkrafterna från glättningen. (*Beskriver egentligen ungefär samma sak som A*).
- C. Ackumulering av luft under det kompakterade ytlagret (DSL) och det distorderade lagret (DT) vilket leder till en försvagad zon som sedan delaminerar. Luft trycks dels ned pga. glättningen, dels fastnar då luft vill arbeta sig upp i betongen från större djup pga. de vibrationer som ytbearbetningen åstadkommer.
- D. Lufttillsats kan påverka blödningen så att den förskjuts varför det på ytan kan se ut som om glättningen skall starta, fastän betongen fortfarande blöder längre in. Den tidigarelagda ytbearbetningen orsakar att det försenade blödningsvattnet fastnar under det glättade kompakterade ytlagret i likhet med scenariot beskrivet i C. Detta kan också inträffa vid skorpbildning ("hot spots") och vid härdning uppifrån och nedåt.
- E. Seg betong, såsom betong med lufttillsats, kan i sig orsaka problem eftersom man då upplever att man måste glätta hårdare och förlänga glättningstiden. Detta skapar tjockare zoner med kompakterade och påverkade betonglager vilket i sin tur ökar risken för delamineringar.

De första tre (två) förklaringarna A-C kan sägas bero av enbart utförandet och de sista två framför allt på betongen och förberedelserna innan gjutning.

7.2 Undersökning av rapporter på CBI Betonginstitutet

Sökning i registret över uppdragsrapporter på CBI Betonginstitutet på orden "delaminering och betonggolv" respektive "sprickor och betonggolv" gjordes. Den första sökningen gav endast någon enstaka rapport. Den andra sökningen gav dock en lista på totalt 221 CBI rapporter från 1960 till 2013. Efter en genomläsning på

utskrifter av ”titel, nyckelord, år, författare samt beställare och objekt” från rapporterna valdes ca 20 rapporter från åren 1989 – 2014 ut för närmare genomläsning. Av dessa handlade endast 5 st om delaminering varav två var från samma objekt. Därefter gjordes en ny sökning på ”blåsor och betonggolv” varefter ytterligare 3 artiklar hittades, skrivna 1991 och tidigare. TABELL 4 sammanfattar CBI uppdragsrapporter som påträffades vid litteratursökningen.

De tre senaste rapporterna från 2013 och 2014 har kommit till under detta arbetes gång. Den tredje och näst sista utredningen är delvis finansierade av projektet. Dessa två skadefall diskuteras mer ingående i följande avsnitt. De övriga är endast beställares egendom varför de är anonymt angivna i titeln i TABELL 5.

TABELL 5. CBI uppdragsrapporter med delamineringsskador.

Rapport nr	Årtal	Titel
7529	1975	Blåsor i vakuumbehandlat betonggolv...
8437	1984	Blåsor i vakuumbehandlat och glättat betonggolv
91028	1991	Blåsor i betonggolv...
93039	1993	Undersökning av prov från sprucket golv
99128	1999	Undersökning av orsak till lossnande ytskikt på betongbanor hos...
2006-136	2006	Sprickor i nygjuten betongplatta...
P900728	2009	Industrigolv i ...
P900728A	2009	Industrigolv i ...
3P00205x	2013	Industrigolv på billackeringsfirma i Skara
4P00345	2014	Skadeutredning, delaminering av betonggolv, Ishall, Nynäshamn
4P00639	2014	Utredning av delaminering av betonggolv....

I rapporten från 1999 diskuteras de tidiga rapporterna från 1975 respektive 1984 där blåsor (lamineringar) hade uppstått.

I de tre första funna rapporterna från 75, 84 och 91 har betongen gjutits vid kall väderlek kring 0° C. Endast i det första fallet från 1975 hade marken uppvärmts före gjutning. I alla tre fall uppstod problem med blåsor. I rapporterna angavs följande orsaker detta:

1975: ”Troligen samlas mindre luftblåsor i en större ansamling omedelbart under ett, från glättningen, tätt ytskikt.” Betongen hade enligt uppgift en lufthalt på 6-8 %.

1984: ”Alltför intensiv finglättning ökar risken för blåsor enligt kunniga hantverkare”. Vi vet från redan givna fakta att en intensiv glättning täpper till ytlagret och om blödningen då inte har upphört uppstår delaminering. Här härdade betongen sannolikt uppifrån och ned, eftersom marken längst ned sannolikt var kall. Fördröjd blödning orsakade troligen delamineringen.

1991: ”Den låga betongtemperaturen, som sjunker ytterligare pga. vakuumbehandling, innebär att dels blir vakuumsugningen mindre effektiv, dels försenas betongens hårdnande /.../ erforderlig hållfasthet uppnås inte inom 24 timmar. Enligt uppgift har glättningsarbetet utförts samma dag.” Även här har glättningen utförts för tidigt med hänsyn till det kalla vädret och att uppvärmning av marken inte skedde innan gjutning.

Och för några av de andra rapporterna angavs följande anledningar:

1993: ”Misstanken att överdriven bearbetning med åkglättaren inverkat har framförts. De deformerade luftporerna i ytskiktet (*tunnslipsutvärdering, förf. anm.*) visar att åkglättaren har en mycket kraftig påverkan /.../ Det höga luftinnehållet (*står ej hur högt, bara ”extremt högt”*) kan vara en bidragande faktor, eftersom detta leder till en försvagning av draghållfastheten.”

1999: ”Den typ av skador som konstaterats i aktuellt fall är ett ej tidigare välkänt problem. Sannolikt beror det på att kombinationen hög lufthalt för frostbeständighet och stålglättning för liten ojämnhet är ovanlig. /.../ I Sverige har man således på vissa håll i branschen känt till denna skadetyper, men ej vetat orsaken. Även internationellt, åtminstone i USA, har problemet varit känt, men ej orsaken.” Sedan citeras två artiklar av Carl Bimel [17, 18] som via noggranna experiment i fält undersökte glättning relaterat till lufthalt i betongen. ”Man sammanfattar att om lufthalten är högre än 3 % finns risk för delaminering om ytan stålglättas.” Uppmätt lufthalt på uttagna prover visade på en lufthalt på 7 % eller mer. (*tunnslipsutvärdering, förf. anm.*)

2006: ”Deformationen av luftporerna (*tunnslipsutvärdering, förf. anm.*) är sannolikt förorsakade av en för hård bearbetning (glättning) av ytan. I lufttillsatt betong som glättas hårt, t.ex. med åkglättare (*sittmaskin*), skapas ofta deformerade luftporer i stråk. /.../ Stråken utgör försvagningszoner som kan orsaka bom och släpp när plattan belastas.

2014: ”Enligt följesedeln innehåller betongen min. 4,5 % lufthalt. Enligt entreprenören har betongytan glättats efter gjutningen. CBI Betonginstitutet bedömer att trolig orsak till delamineringar är att man fick en betong med hög

lufthalt och att golvet har glättats. Internationellt finns rekommendationer att /.../ betongen i betonggolv som skall glättas ej bör innehålla en lufthalt $> 3 \%$.”

De ovan ej refererade rapporterna från 2013 och 2014 redovisas mer detaljerat i nästa avsnitt.

Det måste betonas att detta inte utgör en fullständig förteckning av faktiska uppdrag relaterade till skadefall orsakade av delaminering här på CBI Betonginstitutet. Dock ser det ut att finnas en tendens mot att fler skadefall har uppkommit det senaste decenniet. Det kan dock givetvis ha andra orsaker än att skadetyper blivit vanligare de senaste åren, t ex ökad rapportering på skador.

7.3 Undersökningar av två skadefall med delaminering på betonggolv.

Under projektets första år undersöktes två skadefall med delamineringsproblematik. Det ena var i betonggolv utan luft med ströbetong, det andra var i 80 mm tjock betong med tillsatt luft och $d_{\max}$ 8 mm.

7.3.1 Delaminering i ströbetonggolv, Billackeringsgarage, Rapport 3P00205B

Problem med delaminering uppstod i ett nygjuten betongplatta i en lokal som återuppbyggts efter en brand. Plattan göts 17 april 2013. Redan någon dag efter avslutad glättning upptäcktes bom lokalt, lite här och där, på golvet.

Betongen hade följande recept: C28/35, cement; 70% bygg/30% anl., $d_{\max} = 16$, S3, med melamin som SP. Betongleveratörer var dels Färdig Betong AB i Mariestad och Färdig Betong AB i Skövde, 50/50. Detta recept med en blandning av bygg och anläggningscement hade tagits fram i samband med en tidigare större gjutning där problem också först uppstått.[22]. Ovanpå denna konstruktionsbetong ströddes hårdbetong som därefter grovglättades in.

Vid besök på Skara Plåtslageri den 27 juni togs bilder på golvet samt utborrades 4 st små borrhärlor för undersökning av delamineringen. Se BILD 2 och BILD 9. Från dessa borrhärlor tillverkades 4 st tunnslip för analys.



BILD 9. Fyra prover togs ut, av dessa tillverkades varsitt tunnslip. Tunnslipen tillverkades från ytan där de röda strecken på proverna är ritade.

Analysen i tunnslip visade att två lager av ströbetongen hade uppstått från ytbearbetningen. Se BILD 10.

CBI Betonginstitutet bedömde här att grovglättningen inletts något för sent för att en ordentlig inblandning av ströbetongen skulle kunna ske i konstruktionsbetongen. Sannolikt uppstod s.k. "hot spots" som torkade tidigare och då förmådde grovglättningen inte blanda in ströbetongen i ett enda homogent kompakterat ytlager. Istället har ett utspädd ströbetonglager snurrats in ovanpå det redan förhårdnade ytlagret och skapat två distinkta ytlager. På vissa platser har sent blödningsvatten fastnat mellan dessa tätare ytlager och delaminering har uppkommit. I andra områden som inte hunnit härdat lika mycket har blödningsvatten lyckats tränga igenom upp till ytan. Se vit pil i BILD 10. Viss delaminering kan möjligen ha uppkommit av för hård glättning pga. tung sittmaskin, men då borde uppblandningen av ströbetongen i konstruktionsbetongen också ha lyckats bättre. Nu har snarare tyngden inte räckt till.

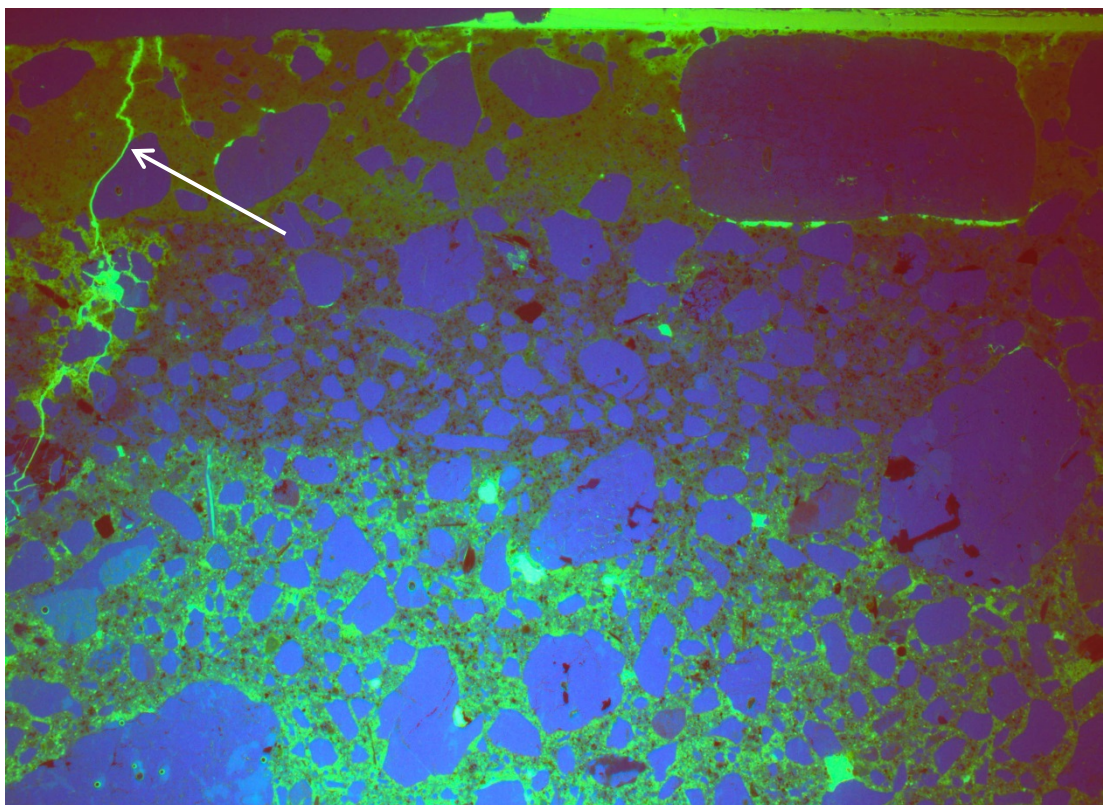


BILD 10. Översta skiktet i tunnslipet från borrprov 2 i BILD 9 avbildad i fluorescerande ljus. Här ser det ut som om applicering av ströbetongen orsakat två lager närmast ytan, ett förtätat lager i konstruktionsbetongen, samt det översta lagret med betydligt färre små ballastkorn. Men här finns ingen tendens till delaminering. Bildbredden motsvarar ca 6,7 mm.

En anledning till att ytbearbetningen kan ha inletts för sent kan vara att konstruktionsbetongen härdat snabbare uppe på ytan jämfört med längre ner i betongen, kanske pga. varm lufttemperatur, kall betong och kall marktemperatur vid gjutningen [8]. Detta scenario leder ofta till att blödning fortsätter efter att glättningen utförts. En seg betong med mycket finmaterial eller luft [2, 19] kan bete sig på detta sätt. Om detta scenario skett är det nästan omöjligt att glätta golvet utan att delaminering uppstår. Denna betong hade dock inte lufttillsats. Mängden finmaterial är dock okänt.

En annan möjlig orsak till delamineringen skulle kunna vara att ströbetongen lagts på lite för sent för att kunna vätas upp ordentligt för att blandas in tillräckligt i konstruktionsbetongen.

7.3.2 Delaminering i glättad betongplatta, Ishall, Uppdragsrapport 3P00345

Bom i betongplattan i en ishall upptäcktes vid en efterkontroll¹¹. Vidare upptäcktes det att bom förekomsten i betongplattan var omfattande. CBI Betonginstitutet tillkallades då för skadeutredning och provtagning.

Betongen var dimensionerad i 80 mm tjocklek och hållfasthetsklass C28/35 med ett vct på max 0,55. Vid blandning användes ett beräknat vct på 0,50 - 0,53. Vidare tillsattes luft eftersom betongen var dimensionerad mot exponeringsklass XF3 mot frost med krav $\geq 5\%$ luft med $d_{\max}$ 8 mm.

Betonglagret grovglättades (skurades) ca 3-4 timmar efter färdig gjutning och finglättningen startade 4-6 timmar efter färdig gjutning. (*OBS! I rapporten står slipning i.st.f. finglättning.*)

Den okulära undersökningen bekräftade den bom som efterkontrollen observerat. BILD 11 visar exempel på typiska trehörningssprickor på det vitmålade betonggolvet.

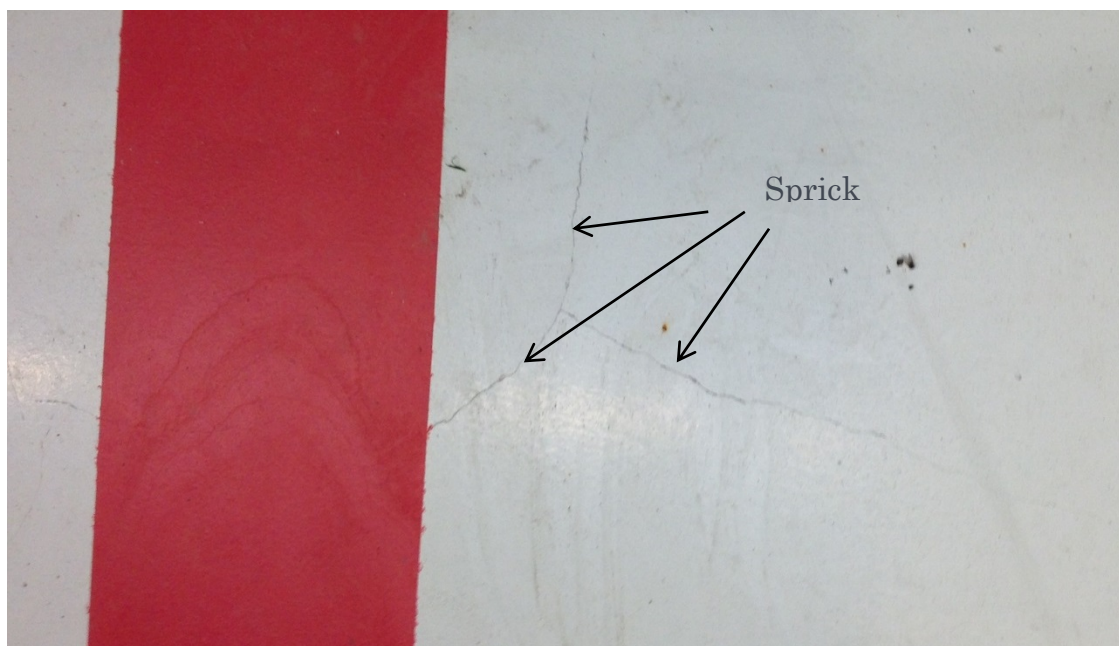


BILD 11. Typisk spricka på ishallens betonggolv. Trehörningsmönstret visar att ett tryck underifrån utövats upp mot betongytan. Jämför med att knacka sönder en pepparkaka i tre delar.

Borrprover togs upp i utkanten utanför ishockeyrinken för att undvika genomborrning av kylrör i betongplattan. Tunnslip tillverkades från tre av borrproverna. Se BILD 12. I provet längst till vänster ser man att en spricka

¹¹ Djupa delamineringar upptäcks i regel som bom genom att en kedja dras över betongytan.

kommer horisontellt in i slipet ca 8 mm från ytan varefter den vänder uppåt upp mot ytan. I de övriga två tunnslipen ser man tydligt delamineringssprickan på 10 - 12 mm djup. Sprickan svänger sig mellan ballast vilket visar att sprickorna uppkommer ganska tidigt då betongen fortfarande är i semiplastiskt tillstånd. Vidare kan man se att luftporerna är betydligt färre ovanför delamineringssprickan i proverna jämfört med under dessa.

I högre förstoring i polarisationsmikroskopet kunde man i tunnslipet till vänster i BILD 12 (borrprov 1) se att fler sprickor har bildats under delamineringssprickan på 8 mm djup. Sprickor fanns även på 18 respektive 25 mm djup. Likaså fanns en spricka på ca 27 mm djup, dvs. ca 16 mm under huvudsprickan, i borrprov 3. Se BILD 13, nästa sida.

Förekomsten av dessa sprickor antyder för tidig eller för hård glättning. Om man tittar noga kan man även se att luftporerna i BILD 13 är skjuvade vilket påvisar påverkan ned till detta djup vid bearbetningen av golvytan.

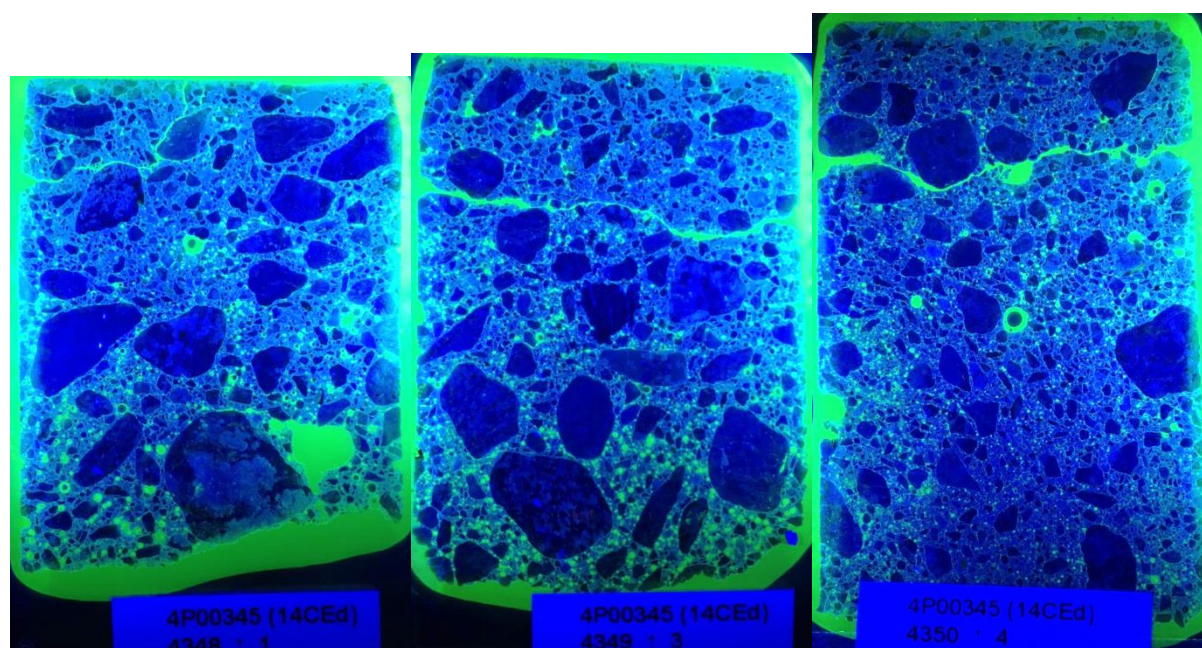


BILD 12. De tre tunnslipen fotograferade i fluorescerande ljus.

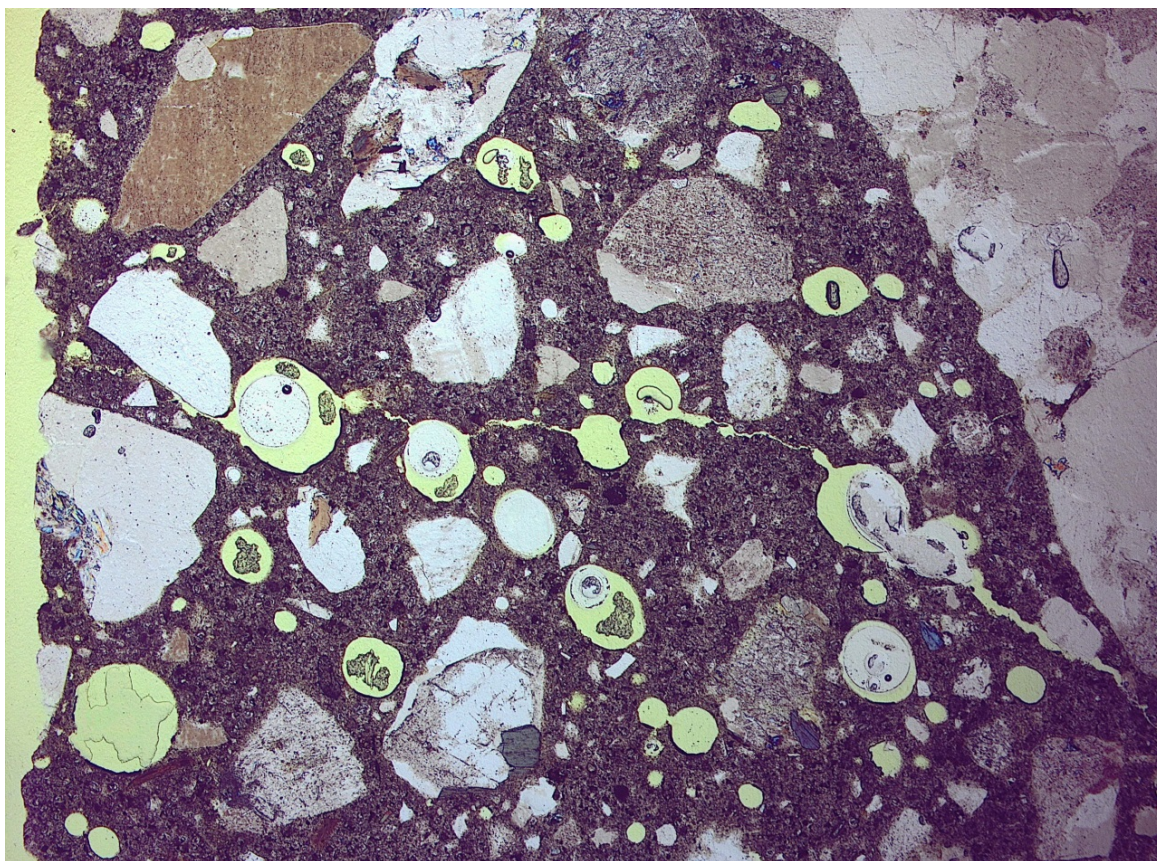


BILD 13. Spricka i tunnslipet i mitten i BILD 11 (borrprov 3) på ca 27 mm djup. Lägg märke till att de flesta luftporerna i bilden är skjuvade i en diagonal riktning. Bildbredden motsvarar ca 3,4 mm.

Resultaten av analysen visade att:

- Mikrostrukturen är bruten i betongen. Ovanför och 5-10 mm under delamineringssprickan är luftporstrukturen söndertrasad och frånvarande eller deformerad.
- Sprickor har även bildats under delamineringssprickan. Det visar att påverkan från ytbearbetningen av betongen skett ned till 25-30 mm i betongen.
- Dessutom har luften i betongen påverkats av ytbearbetningen på ett sådan sett att luftporer skjuvats och ansamlats i större enheter lokalt. Se BILD 14.

Lufthalten i betongen uppskattades grovt till att ligga på mellan 5-6 %.

Slutsatsen i skadeutredningen var att delamineringen sannolikt uppkommit till följd av för hård bearbetning av betongytan. Alternativt att man hade påbörjat bearbetningen något för tidigt. Möjligen hade man här en härdning som startade uppifrån ytan och nedåt i betongen.

En sak som inte nämndes i rapporten var den allmänna rekommendationen att man inte bör glätta betong med högre luftinnehåll än 3 %. Goda resultat kan dock även erhållas med högre lufthalter än så, ifall särskilda åtgärdes vidtas, se avsnitt 7.2.3. Men om lufthalten är över 6 % får man nästan oundvikligen blåsor eller delaminering på någon plats av golvet enligt undersökningen av *Bimel* 1999 [18].

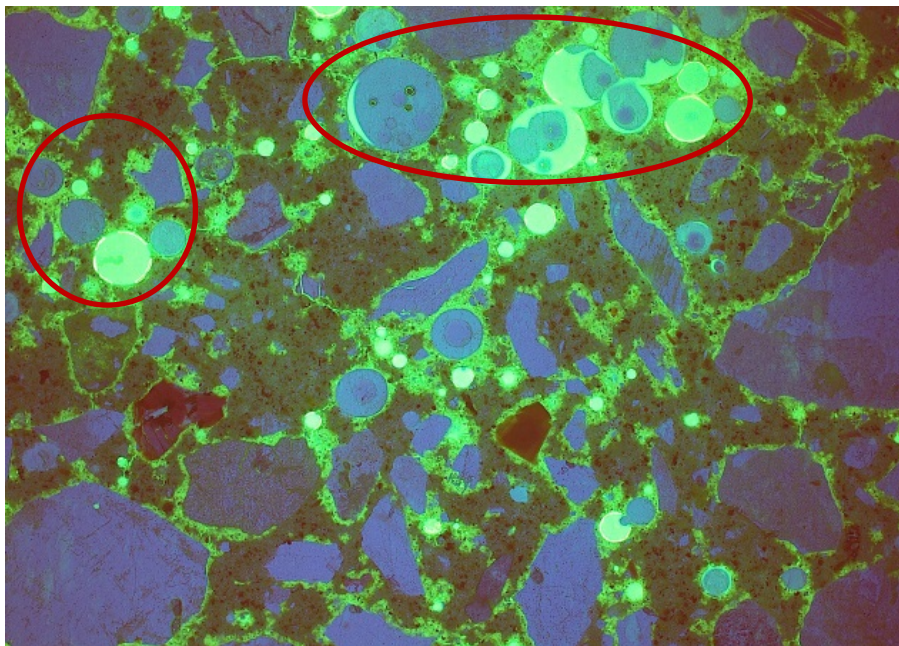


BILD 14. Luftansamlingar i mikrostrukturen ca 40 mm ner i betongen. Observera att en hel del av luftporerna i de tillverkade tunnslipen av proverna är fyllda med lim (runda blå ringar.) Bildbredden motsvarar ca 6,7 mm.

8 DISKUSSION UTIFRÅN RESULTAT AV STUDIER OCH OBSERVATIONER

Utifrån intervjuer, litteraturstudium och redovisade skadefall vet vi nu hur delaminering uppkommer och vad man skall tänka på för att undvika det vid produktion av betonggolv.

8.1 Modernt problem?

Vi ser också tydliga indicier på att detta är ett förhållandevis modernt problem som egentligen inte uppmärksammas ordentligt förrän vid sekelskiftet. Vi ser det dels på rubrikvalet såsom "mysterium" i artikeln [17] av *Bimel* samt av *Lankard* i sin rapport (2004) [19] "Nyligen har byggindustrin gett stor uppmärksamhet till problem med betongplattor i form av delaminering och blåsbildning." Tydligen var detta ett problem som aktualiserades i USA redan vid milleniumskiftet och under första hälften av 2000-talet.

Men vi ser även hur medvetenheten om problemet ökat under åren i CBI's rapporter. T.ex. i rapportern från 1999 heter det ju bl.a. ” Den typ av skador som konstaterats i aktuellt fall är ett ej tidigare välkänt problem” och ”I Sverige har man således på vissa håll i branschen känt till denna skadetyper, men ej vetat orsaken. Även internationellt, åtminstone i USA, har problemet varit känt, men ej orsaken.” Från 1975 – 2005 finns endast 6 CBI uppdrags-rapporter relaterade till problemet, men lika många, 5 st., uppdragsrapporter det sista decenniet.

I intervjuerna som gjorts med tre st mycket erfarna hantverkare – två av dem har jobbat i 40 år - framstår det även som om detta med delaminering i större utsträckning har förekommit de sista 10 åren. Även svaren från övriga hantverkare vittnar om förekomst av problem med delaminering på betonggolv det sista decenniet, även om *den* begränsade undersökningen egentligen inte gav tydliga svar om att det skett med ökad frekvens mot tidigare.

Dessa undersökningar utgör visserligen endast stickprov, men de har ändå en viss signifikans trots allt. Dessutom vet vi att delaminering förekommit betydligt oftare än vad CBI Betonginstitutet får kännedom om.

8.2 Mer luft i betongen än förväntat?

Carl Bimels andra artikel från 1999 heter ”Where did all that air come from”? [18] Där jämförs lufthalten, uppmätt med två olika amerikanska standarder, ASTM C 231 respektive ASTM C 138, dels vid fabrik, dels vid leverans. Det konstateras att för en av betongblandningarna ökade lufthalten oväntat mycket, med ca 3 %, under transporten. Orsaken till detta diskuteras, främst utifrån vilken typ av luftporbildare som man använt. Men *Bimel* säger vidare att ”det finns ofta ett antal förbisedda variabler som kan påverka lufthalten och luftporsystemet varför val av luftporbildare är mycket viktigt.” Men han nämner även att val av vattenreducerare och andra ingredienser i receptet kan påverka lufthalten. Hantverkarna, som hjälpte till i studien, nämner att leverantörerna av tillsatsmedel påstår att deras produkt inte kommer påverka lufthalten. Men tillsatsmedel, i kombination med andra tillsatsmedel, kan påverka betongens egenskaper på ett oförutsett sätt. *Bimel* konstaterar också att trots otrolig noggrann planering och kontroll var det nästan omöjligt att bestämma lufthalten till en säkert värde.

I moderna betongrecept förekommer idag nyare typer av tillsatsmedel. En av anledningarna för denna studie är att undersöka ifall nya tillsatsmedel kan ha påverkat betong på ett sådant sätt att delaminering uppstår. En av teorierna är att flyttillsatsmedel mycket finmaterial ibland oväntat kan orsaka oönskad lufttillsats i betong. Detta visas i en belgisk studie från 2013.

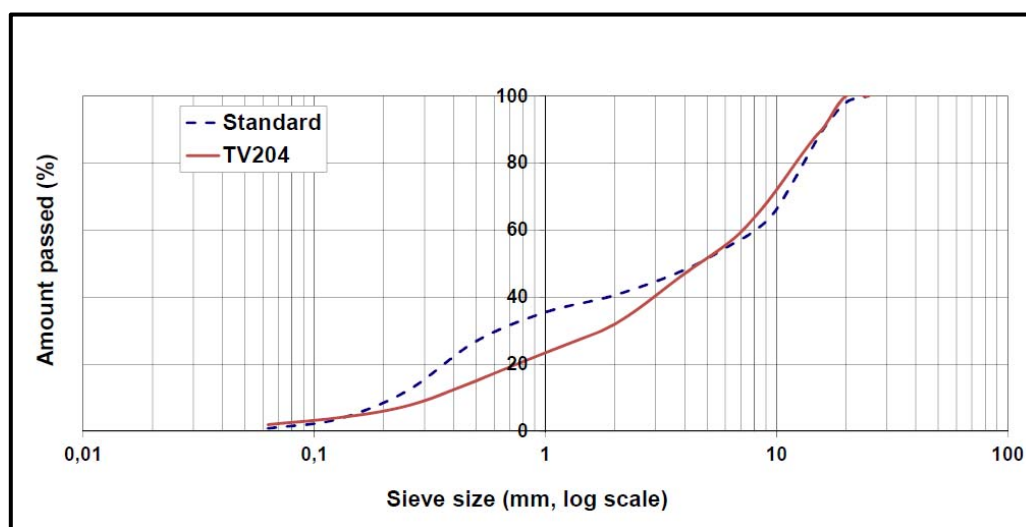
8.3 Belgisk studie kastar ljus över problem vid produktion av betonggolv

I Belgien har ett projekt startats som heter ”*Delamination of industrial concrete floors*”. Projektet benämns kort som ”*Floorcrete*”. En fortsättning av arbetet har startats i RILEM. Det belgiska arbetet startade med anledning av samma bakgrund som i Sverige, dvs. på grund av observation av ett ökat antal skadefall på glättade industrigolv av betong på senare år.

I en laboratoriestudie undersökte de inflytandet av luftmängd, blödning och härdningstid för ett två olika typer av betongblandningar. I april 2012 publicerades en första rapport på de observationer och fakta som man hittills hade samlat in. Artikeln [3] heter ”*La délamination des sols industriels – premières observations des essais en cours.*¹²” Som bakgrund till artikeln nämner man att under 2010 uppräknades 30 fler fall av delaminering av betonggolv, jämfört med under 2009 i Belgien. I många fall hade dessutom delamineringen skett djupare ner än vad man tidigare sett [3]. En förkortad version med ytterligare resultat av deras arbete presenterades på engelska i ett konferensbidrag i mars 2014 på en internationell konferens om Industrigolv i Stuttgart [23]. I följande avsnitt återges deras mycket intressanta och viktiga resultat.

8.3.1 Inflytande av andel finballast och typ av flytmedel

I laboratorieförsök blandade man [23] standardbetong med vct 0,55 med två olika ballastfördelningar, den ena med mer finballast (en ”standard”- blandning vid belgiska betongfabriker) och den andra med lite mer grovballast enligt tekniska specifikationer för industrigolv (TV204). Se FIGUR 3.

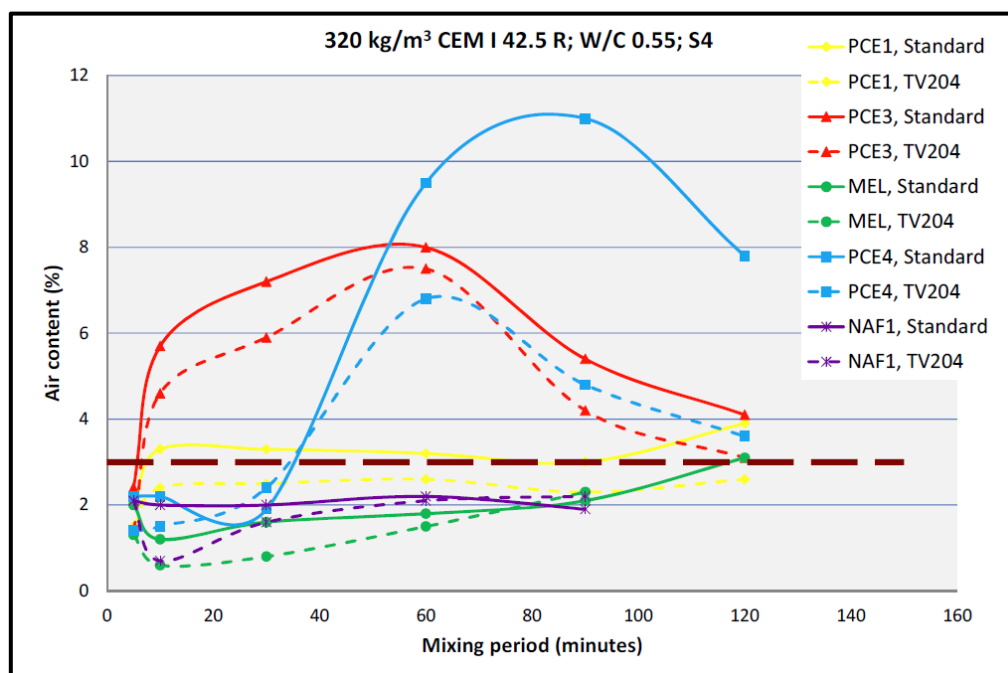


FIGUR 3. De två olika ballastfördelningarna i de två experimentblandningarna [23].

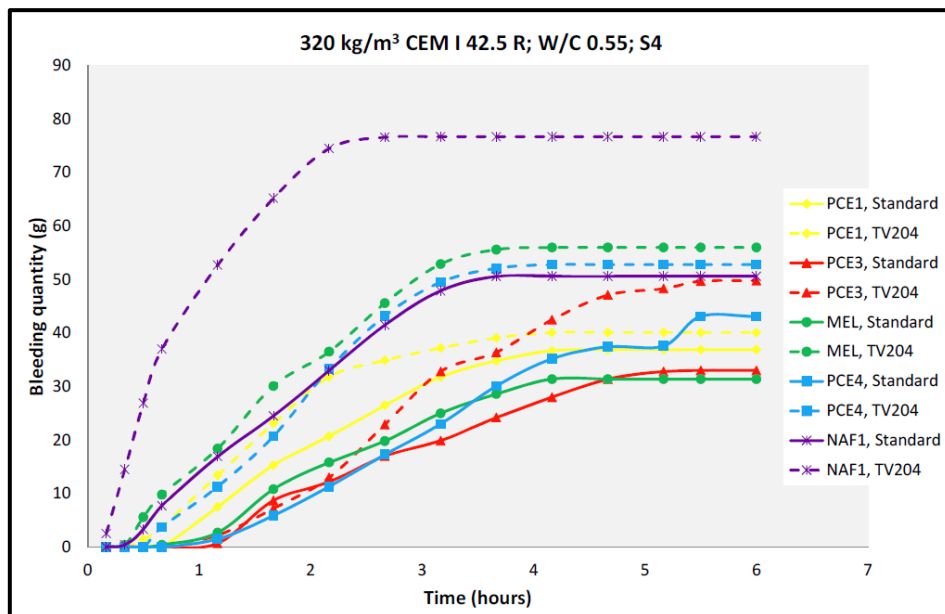
¹² Delaminering i industrigolv – första observationer i projektet.

Därefter tillsattes tre olika polykarboxylateter (PCE) baserade superplasticerare samt en melaminbaserad och en naftalen baserad superplasticerare i vardera blandningen tills en betong med konstistens S4 åstadkommits. Sedan uppmättes lufthalten i betongen efter olika lång blandningstid. Det visade sig att två av de tre PCE baserade flytmedlen tar upp stora mängder luft ifrån omgivningen. Se FIGUR 4 från [23]. Större andel luft bildades i betongerna med större andel finballast. Melamin- och naftalen- baserade flytmedel (en produkt av vardera typen) orsakade däremot ingen luftinblandning.

Samma studie visar också att blandningarna med PCE flytmedel blöder betydligt mindre och sätter sig senare jämfört med betonger med flytmedelstillsats av naftalen eller melamin [23]. När det gäller blödningen har dessutom ballastens storleksfördelning en stor betydelse. Betong med mindre andel finballast blöder snabbare och, än viktigare, blödningen avstannar snabbare. Betongen som blöder snabbast, den med naftalen, är klar att börja bearbeta redan efter drygt två timmar, emedan de långsammaste blandningarna med PCE SP'are blöder i över fem timmar, och då endast halva vattenmängden mot blandningar med melamin och endast en tredjedel av vattenmängden i naftalenblandningarna [23]. Se FIGUR 5.



FIGUR 4. Utveckling av luftinnehåll i experimentblandningar som funktion av blandningstid [23].



FIGUR 5. Blödningsmängden (g) som funktion av tiden i de olika proverna [23].

För att kunna bearbeta betongen får den heller inte torka ut för mycket så att skorpor ("hot spots") bildas. Blödningen av betongen är nyttig även ur denna aspekt eftersom vattnet på ytan minskar risken för att skorpbildning skall uppstå. Det är heller ingen risk att cementskud bildas eftersom grovglättningen blandar om och kompakterar ytan. Men ännu viktigare för att undvika delaminering är att blödningen har upphört när bearbetningen börjar, så att inte blödnings-vatten fastnar under det bearbetade ytskiktet [8, 14, 15].

8.4 Utförande vid rätt tidpunkt (och rätt betong)

Från FIGUR 4 förstår man att lufthalten i betongen måste kontrolleras innan man tar emot den och lägger ut den. Annars kan uppdraget bli omöjligt att genomföra. Den lufthalt som uppmättes vid fabriken behöver inte vara den samma som då betongen levereras vid byggnadsplatsen [18]. Ytterligare blandningstid i t.ex. betongbil kan, såsom visas i FIGUR 2, ha en mycket stor inverkan på lufthalten. Att PCE-baserade superplasticerare kan ha en förmåga att dra in luft i betongen vid blandning har även visats i andra arbeten [24]. Detta har man varit medveten om och man har därför även utvecklat s.k. skumdämpare som skall ta bort denna negativa effekt från skumbildande flytmedelstillsatser.

Det skall även tilläggas att enligt producenter finns PCE baserade flytmedel som fungerar bra utan att för mycket luft bildas i betongen [25]. En av de undersökta PCE flytmedlen i den belgiska studien orsakade endast en begränsad ökning av luft i betongen jämfört med melamin och naftalen.

FIGUR 5 visar när betonger med olika sammansättning har blött färdigt. Så fort blödningen har upphört kan man börja kontrollera om betongen är redo att börja bearbetas. Men hur gör man det? Givetvis skall det inte ligga blödningsvatten kvar på ytan. Men betongen får heller inte börja torka så att ljusa fläckar uppstår lite här och där. Det senare, med s.k. skorpbildning ("crusting"), kan inträffa vid för liten och för långsam blödning. I de anvisningar som ges i [8] ger man rådet att ett fotavtryck inte skall ge djupare spår än 6 mm ner i betongen.

Dooms et al. [23] använder sig av ett penetrationstest som kallas för Voton-stickan som används för att kontrollera när betongen är redo för bearbetning. Enligt den belgiska standarden (NEN 2743), som beskriver användandet av stickan, skall den gå ner högst 30 mm innan betongen är redo att bearbetas. *Dooms et al.* observerade i sina studier att det tog nästan dubbelt så lång tid för betong med det sämsta PCE flytmedlet jämfört med den snabbaste betongen, innan bearbetning var lämplig att påbörjas, 6 h och 20 min att jämföra med endast 3,5 h för betongen med naftalen och mindre finballast. Se figur i [23].

En annan metod för penetrationstest, som redan nämndes i avsnitt 6.4, för att avgöra om bearbetning av betongytan kan påbörjas utarbetades av CBI Betonginstitutet redan 1991 [12]. Man använde sig av en "apparat för fallviktsmätning". Utrustningen består i princip av en undertill konisk vikt som släpps från en bestämd höjd och som ger ett intryck i betongytan och vars diameter har ett samband med ytskiktets hårdhet. Undersökningarna då visade att enligt denna metod, kan grovglättning (skurning) utföras vid ett fallviktsvärde på ca 60 mm och finglättning vid 40 - 45 mm. Rapporten kan beställas från CBI Betonginstitutet.

En liknande metodik beskrivs av *Breitenbacher et al.* i [15] och [16] för bestämning av tillräcklig hårdnande i underliggande betong innan applicering av ströbetong för en god resulterande bindningsstyrka.

Det skulle även vara bra om man hade en metod för att bedöma om härdningen kommit lika långt djupare in i betongen som på ytan. Man kanske kan använda sig av temperaturgivare?

Utveckling av och användande av liknande apparater som denna eller den belgiska bör kanske användas mer ute på arbetsplatserna? Kanske bör även en standard införas för ett korrekt utförande av konstruktion och ytbearbetning av industrigolv av betong?

På Betongindustri AB har man utvecklat ett dataprogram som skall kunna beräkna när det är dags att starta grov- respektive finglättning. Metodiken presenterades bl.a. i Husbyggaren 2010 med den lite konstiga titeln "Program som kortar ner väntetid när betonggolv skall glättas" [26]. Väntetiden beror ju trots allt av betongsammansättning och omgivande förhållanden som temperatur och vind. Men med hjälp av korrekta indata beräknar ett dataprogram när det är dags att starta grov- respektive finglättning. Sedan dess har en utvärdering påbörjats och det finns redan en hel del resultat, som dock ännu är opublicerade.

I ett nytt koncept som man kallar, BI Dry, har ett datorprogram kalibrerat värden från fältstudier mot labresultat för att förbättra beräkningarna för tidpunkt när ythållfastheten är lämplig för att inleda grov- respektive finglättning [27].

9 SLUTSATSER

Det ena syftet med denna rapport är att undersöka ifall en ökning av problem med delaminering har skett under den senaste 10-års perioden i Sverige. Det andra syftet med rapporten var att försöka förstå vad en sådan ökning kan bero på.

Både litteraturen, artiklar och olika typer av rapporter, och vittnesmål från utförande golventreprenörer tycks bekräfta denna bild, dvs. att problem med delaminering har ökat de sista 10-15 åren.

Huvudorsaken till denna ökning tros vara att betongrecepten har förändrats på ett sådant sätt att det ofta blivit mycket svårt att åstadkomma en bra ytbehandling av golvbetongen.

Dessa skador orsakar stora kostnader för entreprenörerna. Man kan tycka att entreprenörerna får bära ett alltför stort ansvar och att det är orättvist att de skall bära alla kostnader när de plötsligt får nya typer av betong att använda, betongsorter med nya recept som uppför sig på annorlunda mot tidigare levererade betonger.

Rapporten visar alltså att det finns tecken som talar för att en ökning av delamineringsskador har skett. En belgisk studie [3, 23] har visat att mycket finmaterial gör det svårare att bearbeta betongen korrekt och att vissa typer av flytmedel har en förmåga att dra in luft i betongen vilket i stort sett kan göra det omöjligt att ytbearbeta betongen med glättning. Dessutom visar studien att kombinationen med mycket finmaterial och vissa typer av dessa flytmedel medför ännu större luftinblandning i betongen.

9.1 Råd för att undvika delaminering vid produktion av betonggolv

För att lyckas med ett betonggolv som skall ytbehandlas med glättning skall följande saker iakttas samt alla de råd som ges i avsnitt 7.2.3 studeras.

- Undvik betong med lufttillsats $> 3 \%$.
- Undvik en betongsammansättning med för mycket finballast.
- Kontrollera vilken typ av flytmedel som används. Många flytmedel av typen polykarboxylateter (PCE) har egenskapen att dra med sig stora mängder luft in i betongen.
- Kontrollera alltid lufthalten i betongen innan gjutningen påbörjas.
- Se alltid till att underlaget är ordentligt uppvärmt innan gjutningen påbörjas.
- Undvik att starta för tidigt med grovglättningen vid användning av sittmaskiner. Ett riktmärke som anges är att ett fotavtryck endast skall gå ner ca 3 mm i betongen att jämföra med 6 mm vid handhållen maskinglättning.
- Undvik betong med vct under 0,50 för lyckade resultat. Ett vct runt 0,55 – 0,60 bör fungera bra.

Till sist verkar det som om branschen på många håll redan har kommit ifrån de värsta problemen. Vid kontakt med både Conny Gustafsson och tidigare nämnde betongleverantör uppger de idag att de inte erfaret några problem med delaminering de sista två åren.

10 FORTSATTA STUDIER

En ordentlig sammanställning av inträffade skador med delaminering skulle varit önskvärd, men är nog svår att sammanställa. Kanske borde en intresseorganisation för golventreprenörer i branschen starta där misslyckanden kunde arkiveras, så att man kan lära av varandra för att minska antalet skadefall.

11 TACK

Tack till SBUF och Modern Betong AB för ekonomiskt stöd till projektet, bibliotekaren Eva Lundgren som hjälpt till att ta fram både artiklar och CBI rapporter, till Johan Silfwerbrand och Carl-Fredrik Söderberg som stött arbetet med sin erfarenhet och kunskap, liksom Hans Hedlund på Skanska Sverige AB. Vidare riktas stort tack till de entreprenörer som tagit sin egen tid till att besvara frågor och ställa upp på intervjuer. Särskilt tack riktas till Conny Gustafsson, Linotol AB, Sven Hasselström på Tråvad Bygg och Betong AB, Aro Lippikainen samt Sven Hellström, Spicetec AB.

12 REFERENSER

- [1] C. F. Söderberg, *samtal 2013-05-21*, Modern Betong AB.
- [2] Dipayan Jana, "Delamination - a State-of-the-Art Review," presented at the 29th International Conference on Cement Microscopy, Quebec City, Canada, 2007.
- [3] Dieryck Vinciane, Doooms Bram, and Pollet Valerie, "La délamination de sols industriels - premières observation des essais en cours au CSTC," *Le dossiers de CSTC*, vol. 4, p. 6, 2012.
- [4] Lars Kraft, "Studie av hårdbetongpågjutningar på gammal betong," Uppdragsrapport P900582, CBI Betonginstitutet, Stockholm, 2010.
- [5] P. Ulriksen, "Impulsmätningars beroende av sprickdjup - delaminering," Elforsk rapport 11:11, Stockholm, 2011.
- [6] Portland Cement Association, "Concrete Slab Surface Defects: Causes, Prevention, Repair," in *Concrete Information*, ed. Skokie: PCA R&D Serial No. 2155, 2001.
- [7] Betongföreningen, "Industrigolv, Rekommendationer för projektering, materialval, produktion, drift och underhåll," Betongrapport nr. 13, 2008.
- [8] American Concrete Institute, "Slabs on Ground, 3rd edition," Farmington Hills, Michigan, 2010.
- [9] Svensk Byggtjänst och Cements AB, "Betonghandboken Arbetsutförande, projektering och byggande," ed. Stockholm, 1992.
- [10] <http://www.linotol.se/sv/business-areas/concrete-flooring-and-constructions>, ed.
- [11] Conny Gustafsson, *Samtal i Kungsör 2013-10-01*, Linotol AB.
- [12] Örjan Petersson and Arne Johansson, "Styrning av glättingshårdhet, CBI rapport 1:91," Stockholm 1991.
- [13] <http://www.alleneng.com/concrete-equipment/finishing/riding-trowel>.
- [14] ACI Committee 302, "Guide for Concrete Floor and Slab Construction," Report ACI 302.1 R-04, American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2004.
- [15] R. Breitenbücher and B. Siebert, "Prevention of surface damages in industrial floors," in *Betonwerk und Fertigteil-Technik/Concrete Plant and Precast Technology*, 2008, pp. 152-153.
- [16] R. Breitenbücher and B. Siebert, "Prevention of damages in industrial floors with screed layers," in *Concrete Repair, Rehabilitation and Retrofitting II* -

Proceedings of the 2nd International Conference on Concrete Repair, Rehabilitation and Retrofitting, ICCRRR, 2009, pp. 365-366.

- [17] Carl Bimel, "Is delamination really a mystery?," *Concrete International*, vol. 20 (1), pp. 29-34, 1998.
- [18] Carl Bimel, "Where Did All That Air Come From?," *Concrete International*, vol. 21(1), pp. 54-59, 1999.
- [19] David R. Lankard, "Air Entrainment and Delaminations," *Concrete International*, pp. 21-30, November 2004.
- [20] M. A. T. M. Broekmans, "Microscale sedimentary transport phenomena reveal the origin of delamination in an industrial floor," *Materials Characterization*, vol. 53, pp. 233-241, 2004.
- [21] Cement Concrete & Aggregates Australia, "Delamination of Concrete Industrial Floors," in *on site*, ed. September, 2009.
- [22] Sven Hasselström, *samtal 27 juni 2013*, Tråvad Bygg och Betong AB.
- [23] Bram Doms, Valérie Pollet, Vinciane Dieryck, and Laura Kupers, "FloorCrete Research Project - delamination of Concrete Industrial floors: First Results and Practical Recommendations," presented at the 8th International Colloquium on Industrial Floors, Stuttgart / Ostfildern, Germany, 2014.
- [24] Lange A. and Plank J., "Study of the foaming behaviour of allyl ether-based polycaboxylate superplasticizers," *Cement and Concrete Research*, vol. 42, pp. 484-489, 2012.
- [25] Peter Löschnig, Michele Colonna, Petra Fischer, Georg Heidrich, Stephan Meier, and Matthias Oly, "Anwendung von Fließmitteln auf PCE-Basis im Industriebodenbau (The Use of PCE Based Superplasticizers for the construction of Industrial Floors)," in *8th International Colloquium on Industrial Floors*, Stuttgart, Ostfildern, Germany, 2014.
- [26] Emborg M., Carlswärd J., Hedin C., Jonasson J-E., and Järleberg M., "Program kortar ned väntetid när betong ska glättas," *Husbyggaren*, pp. 31-34, 2010.
- [27] Mats Emborg, "korrespondens 22 juni 2015," *Betongindustri AB*.