



**TEKNOLOGISK  
INSTITUT**

Gregersensvej  
DK-2630 Taastrup  
Telefon 72 20 20 00  
Telefax 72 20 20 19

info@teknologisk.dk  
www.teknologisk.dk

# **Ammoniak i flyveaske**

## **Ligevægtsbestemmelse**

**Udført for:**  
*Emineral A/S*  
*Nefovej 50*  
*9310 Vodskov*

**Udført af:**  
*Jørn Bødker*  
*Anette Berrig*

*Taastrup, 21. april 2006*

Titel: Ammoniak i flyveaske  
Ligevægtsbestemmelse

Forfatter: Jørn Bødker  
Anette Berrig

Reproduktion af dele af rapporten er tilladt, hvis kilde angives.

# Indhold

1. Indledning og formål.....	2
2. Resultater.....	3
2.1 Forsøgsopstilling og udførelse af forsøg.....	3
2.2 Resultater .....	4
2.2.1 Forskellige mørtelmængder .....	4
2.2.2 Superplast.....	5
2.2.3 Langtidsforsøg.....	5
2.2.4 Forsøg med udluftning .....	6
2.2.5 Forsøg med omrøring.....	7
3. Diskussion .....	9
4. Konklusion .....	11

# 1. Indledning og formål.

Når beton, som indeholder ammoniak udstøbes, vil ammoniakken søge at fordampe. Hvis udstøbningen sker i et lukket rum, vil koncentrationen af ammoniak i luften stige, til der er opnået ligevægt mellem ammoniak i beton og i luftfase. Når denne ligevægt er opnået, kan ammoniakkoncentrationen i luften ikke blive højere, og man har derfor opnået den højst tænkelige koncentration af ammoniak i luften og dermed bestemt en arbejdsmiljømæssig "worst case".

For at fastlægge denne højeste opnåelige koncentration af ammoniak i luften er der gennemført en række forsøg med stigende mængder mørtel udstøbt med stor overflade i et lukket kammer.

## 2. Resultater

### 2.1 Forsøgsopstilling og udførelse af forsøg

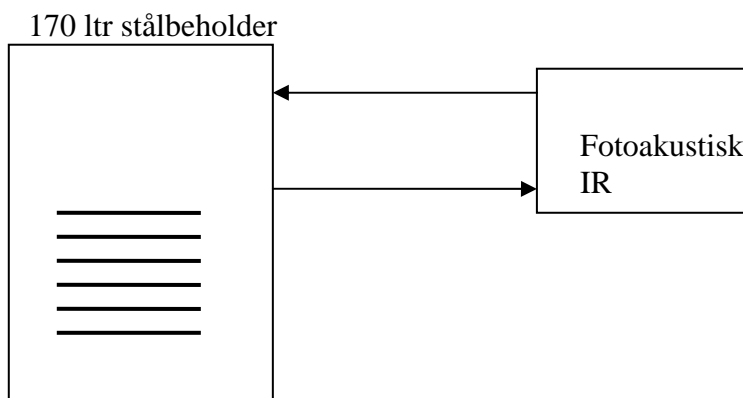
Afdampningsforsøgene gennemføres i en 170 liter lukket beholder uden luftskifte. Beholderen er udført af elektropoleret rustfrit stål, og der er en række tilslutninger til beholderen, således at der løbende kan udtages luftprøver fra beholderen.

Luften i stålbeholderen analyseres for ammoniakindhold ved hjælp af et fotoakustisk IR-instrument fra firmaet Brüel og Kjær. Der samples og analyseres med forudbestemte tidsintervaller, og data opsamles på en datalogger.

Analysatorens analyseprincip medfører, at ammoniak ikke nedbrydes eller på anden måde omsættes under passage af instrumentet. Fra analysatoren ledes luften retur til kammeret, således at der ikke er noget luftskifte i prøvekommeret.

For at sikre opblanding i beholderen er der placeret en lille ventilator inde i beholderen.

I beholderen udstøbes ca. 1 cm tykke "skiver" i plastforme, der placeres med ca. 5 cm afstand i beholderen som skitseret i nedenstående figur.



Figur 1: Forsøgsopstilling

En mørtelblanding fremstilles i laboratoriet, og så hurtigt som muligt (ca. 5 -10 minutter) udstøbes mørtelen i en række forme, som stables i kammeret, og som derefter lukkes lufttæt.

Koncentrationen af ammoniak i kammeret følges derefter gennem en periode ved hjælp af fotoakustisk IR instrument.

Der gennemføres endvidere forsøg, hvor blandeprocessen foregår inde i beholderen, idet selve blanderen er placeret i beholderen og fjernstyres udefra.

Mørtelblandingen har følgende sammensætning:

- 1040 gram sand
- 620 gram RAPID® cement
- 155 gram flyveaske
- 335 ml vand.

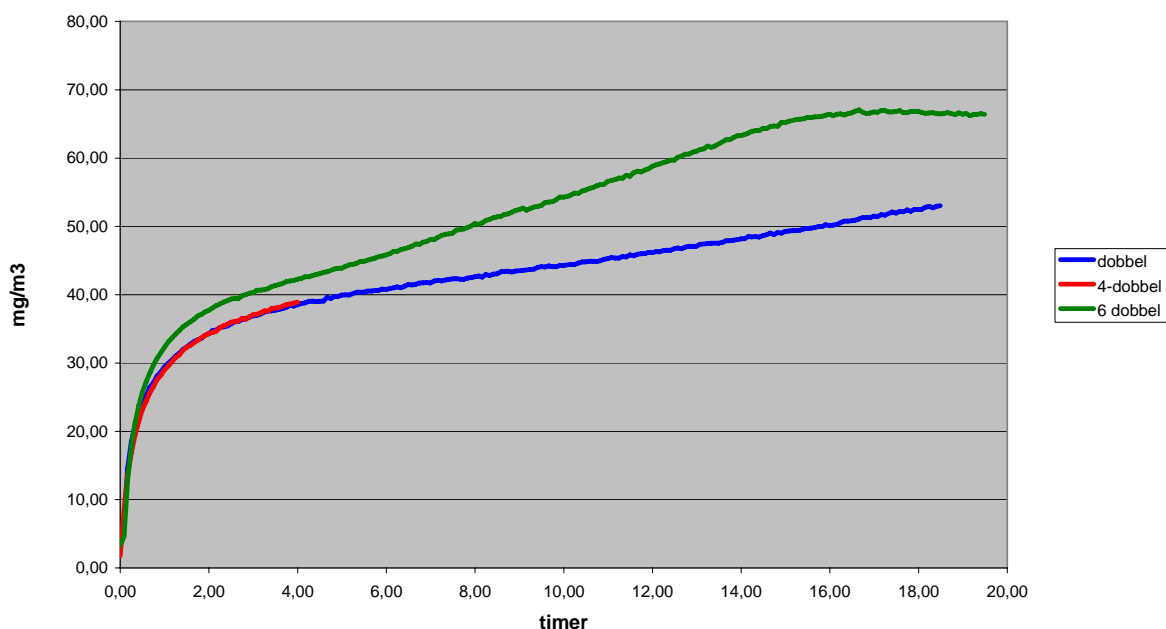
Der anvendes dobbelt, 4-dobbelt og 6-dobbelt portioner i forsøgene.

I forsøgene med ekstra ammonium er der tilsat opløst ammoniumsulfat svarende til 137 mg/kg ammonium i flyveasken. Da flyveasken i forvejen indeholder 63 mg/kg, er den samlede mængde ammoniak/ammonium i mørtelen, hvad der ville svare til i alt ca. 200 mg/kg i flyveasken.

## 2.2 Resultater

### 2.2.1 Forskellige mørtelmængder

I de nedenstående figurer ser man  $\text{NH}_3$ -koncentrationsforløbet ved afdampning af ammoniak fra mørtel tilsat ekstra ammonium. Forsøget er gentaget med stigende mørtelmængder. Stigende mørtelmængder betyder også stigende overfladeareal. Dobbelt mørtelmængde modsvares således af et dobbelt antal skiver osv.

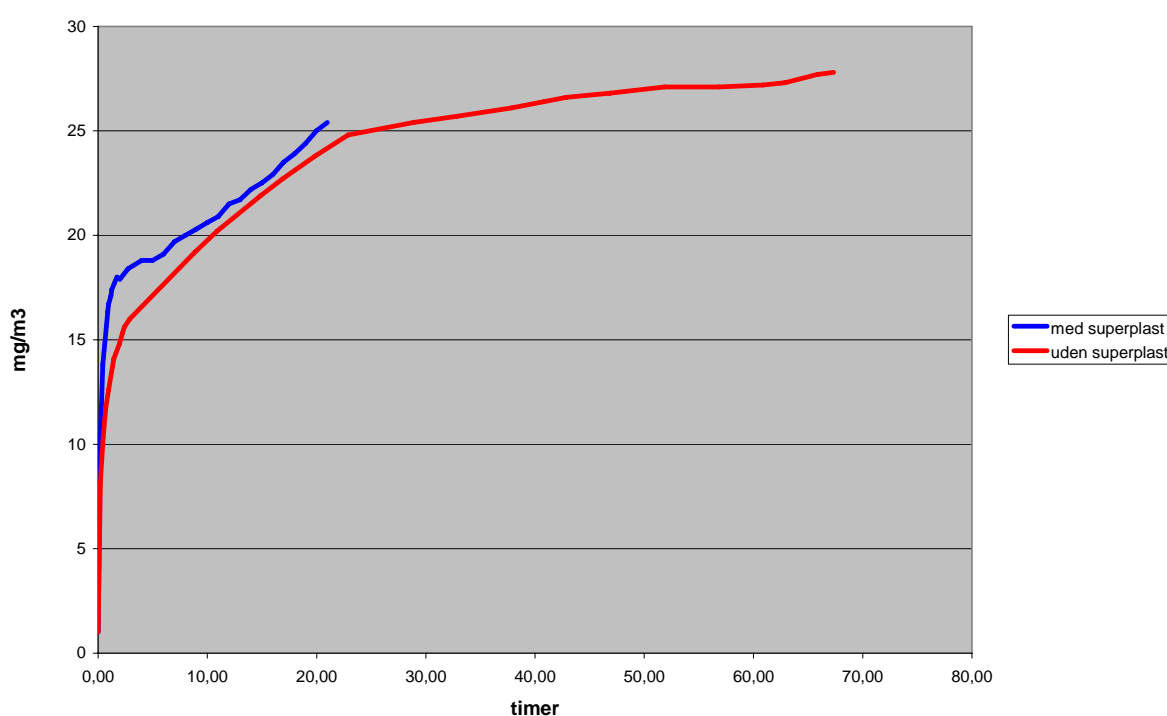


Figur 2.1 Afdampning af ammoniak fra mørtel tilsat ekstra ammonium. Forsøget er gentaget med stigende mængder mørtel i kammeret.

## 2.2.2 Superplast

I forbindelse med indledende forsøg blev det konstateret, at tilstedeværelsen af træ og masonit i kammeret påvirkede ammoniakkoncentrationen voldsomt. Det samme kunne tænkes at være tilfældet ved tilsætning af superplast, der kemisk har nogle af de samme karakteristika som limen i masonit. For at undersøge virkningen af tilsætningen af superplast til mørtelen, er der gennemført et sammenlignende forsøg med og uden superplast. Der er anvendt 4-dobbelt mørtelmængde på i alt 8,6 kg udstøbt med et areal på ca. 3400 cm<sup>2</sup>. Til mørtelen med superplast er anvendt 10 ml GLENIUM ACE 340 til hele blandingen. Alle andre parametre holdes i øvrigt konstant.

I nedenstående figur er afbildet ammoniakkoncentrationen som funktion af tiden ved forsøg med og uden superplast.

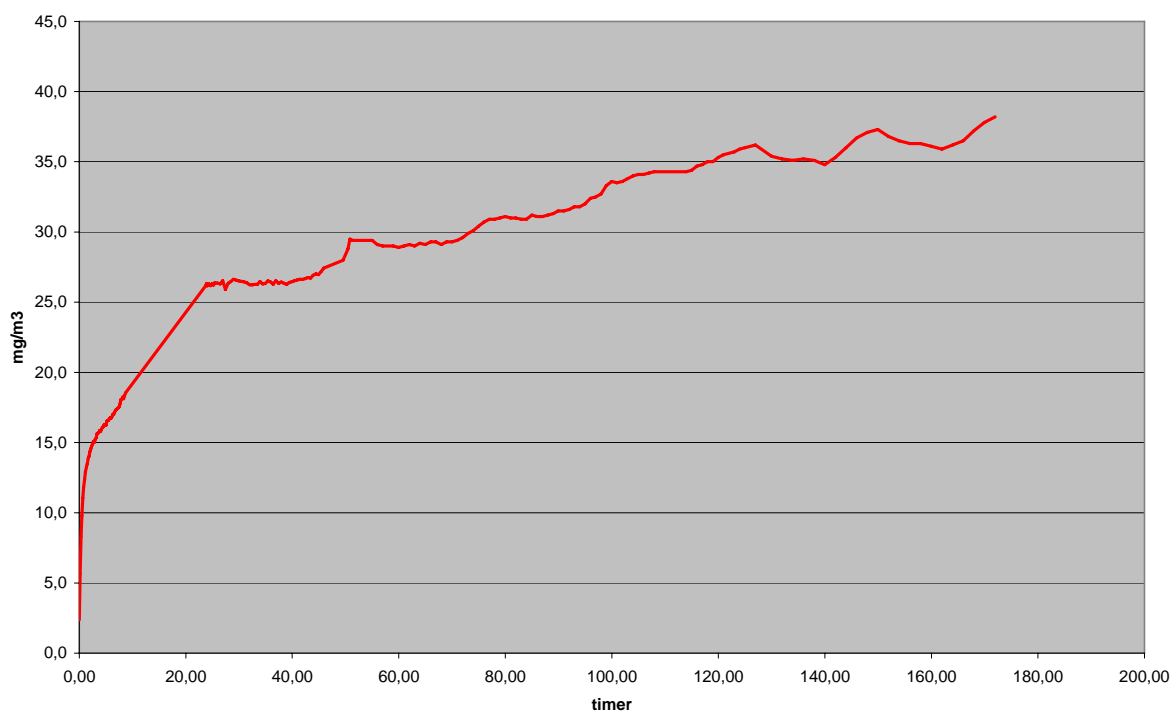


Figur 2.2 Afdampning af ammoniak fra mørtel med og uden superplast. Der er anvendt flyveaske uden ekstratilsætning af ammonium

## 2.2.3 Langtidsforsøg

I samtlige forsøg ser man at koncentrationen af ammoniak i luften over mørteloverfladerne fortsætter med at vokse med tiden. For at undersøge dette nærmere er der gennemført et længerevarende forsøg, hvor ammoniakkoncentrationen overvåges gennem flere dage.

I nedenstående figur er afbildet ammoniakkoncentrationen i et forsøg, hvor der anvendt 6 dobbelt mørtelmængde svarende til 12,9 kg udstøbt med et areal på ca. 5100 cm<sup>2</sup>. Efter af-formning er det exponerede areal ca 10.000 cm<sup>2</sup>. Målingerne fortsættes over en uge.



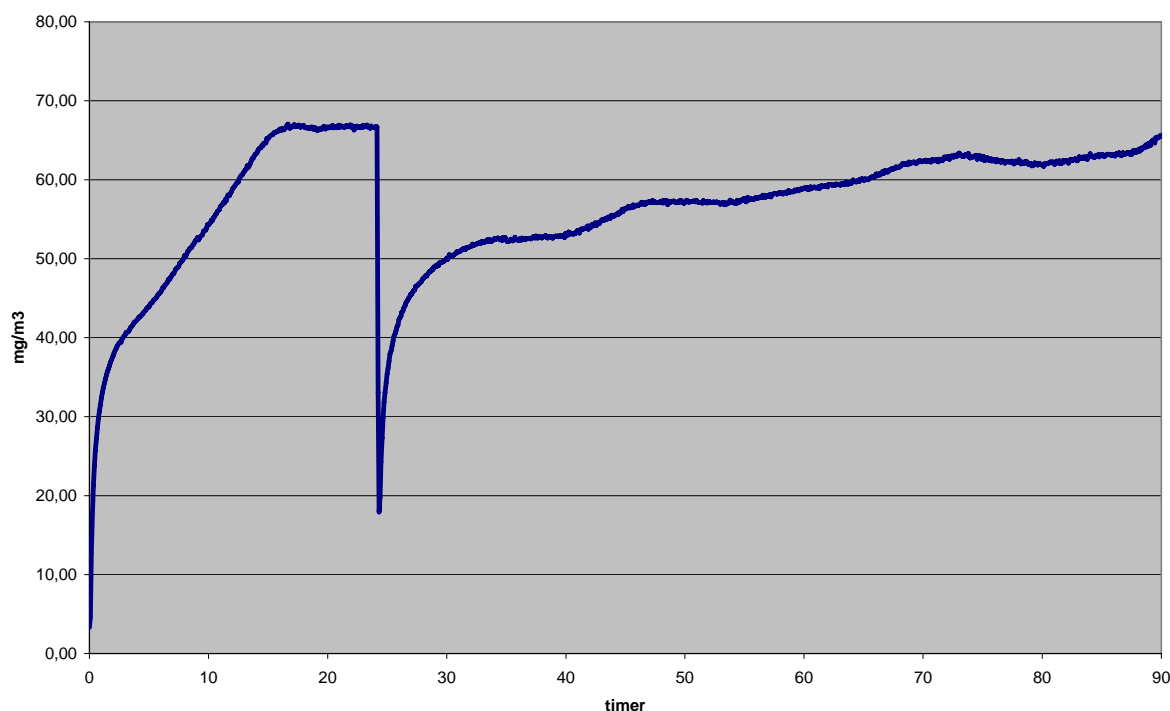
Figur 2.3 Ammoniakafdampning ingen ekstra ammoniak

## 2.2.4 Forsøg med udluftning

I dette forsøg er kammeret åbnet ca. 25 timer, efter at mørtelen er udstøbt. Luften i kammeret er udskiftet, og de hærdnede mørtelskiverne er afformet. Derefter er alle mørtelskiverne genplaceret i kammeret i en stak med ca. 5 cm afstandsholdere, og kammeret er lukket.

Der er anvendt 6 dobbelt mørtelmængde svarende til 12,9 kg udstøbt med et areal på ca. 5100 cm<sup>2</sup>, og der er tilsat ekstra ammonium til mørtelen.

Koncentrationen af ammoniak er fulgt gennem hele forløbet, og koncentrationsforløbet er afbildet i nedenstående figur.



Figur 2.4 Ammoniak koncentrationen afbildet som funktion af tiden. Kammeret er åbnet og udluftet efter ca. 25 timer

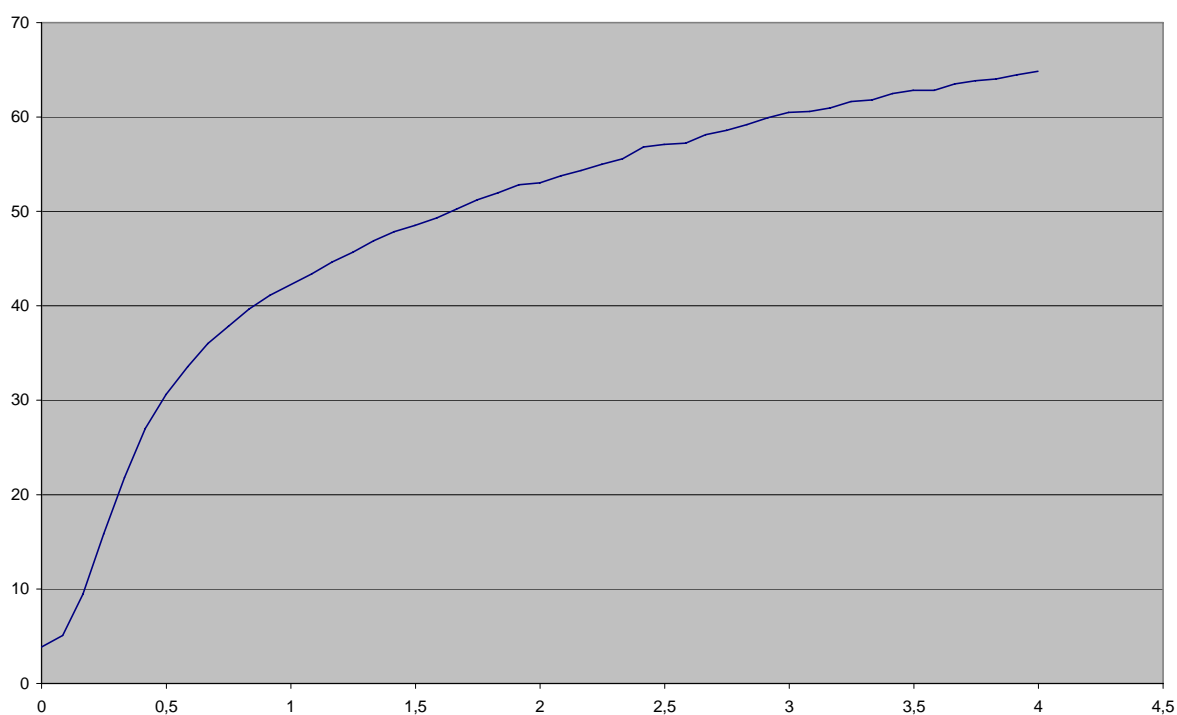
### 2.2.5 Forsøg med omrøring

I et forsøg på at estimere den maksimale koncentration af ammoniak der kan opstå under omrøring af en mørtelblanding, er der gennemført et forsøg, hvor blanderen er placeret i kammeret.

Der anvendes en dobbelt mørtelblanding på 4,3 kg. Der er tilsat ekstra ammonium svarende til en samlet ammoniummængde i flyveasken på 200 mg/kg.

For at hindre af mørtelblandingen afhænder under forsøget, er der tilsat ca. 5 gram sukker til blandingen.

Resultaterne er afbildet i figur på næste side.



Figur 2.3 Ammoniakkoncentrationen afbildet som funktion af tiden i et forsøg hvor omrøreren er placeret i kammeret.

Under forsøget afsætter motoren i blanderen relativt stor effekt, og temperaturen i kammeret stiger voldsomt. Temperaturen er ikke målt under forsøget, men anslås til mindst 50 °C ved forsøgets afslutning.

### 3. Diskussion

Man ser af figur 2.1, at koncentrationen af ammoniak i kammeret ikke afhænger af mørtelmængden eller mørteloverfladen, når der anvendes tilstrækkelig store mængder mørtel. De tre kurveforløb er næsten identiske. Forskellen sandsynligvis udtryk for en vis usikkerhed i forbindelse med målingerne. Hvis forøgelsen i overfladeareal skulle have afgørende betydning på ammoniakkoncentrationen i luften i kammeret, skulle koncentrationen i forbindelse med 4-dobbelt og 6-dobbelt mørtelmængde være langt højere end det er tilfældet.

Det må tolkes som, at koncentrationen af ammoniak i luften efter nogle få timer er tæt på ligevægt.

Denne vurdering understøttes af forsøget, hvor kammeret åbnes og udluftes. Resultaterne af dette forsøg er afbildet i figur 2.4, hvor man ser, at koncentrationen af ammoniak i kammeret efter en udluftning hurtigt vokser op til næsten samme koncentration, som før kammeret blev udluftet.

Alle forsøgene viser imidlertid, at koncentrationen af ammoniak fortsat vokser om end langsomt selv efter en uges ophold i beholderen. På dette tidspunkt må det antages, at ammoniakken er tæt på at stå i ligevægt mellem luft og mørtel.

En forklaring på fænomenet kunne være, at der under hærningen forbruges vand, således at koncentrationen af ammoniak i det resterende porevand på den måde vokser.

Der er intet der tyder på, at tilsætning af superplast skulle have nævneværdig indflydelse på afdampningshastigheden af ammoniak.

Hvis resultaterne fra disse laboratorieforsøg opskaleres til fuld skala, må man forvente, at de målte koncentrationer af ammoniak er de højeste, der kan forekomme i et lokale, der er fuldstændigt lukket uden nogen form for ventilation, og hvor der er udstøbt en stor mængde beton. En i praktisk sammenhæng temmelig urealistisk situation, som imidlertid belyser den værst tænkelige arbejdsmiljømæssige situation.

Anvender man beton med en pastasammensætning, som der er anvendt i disse forsøg og et indhold af ammoniak i flyveasken på 200 mg/kg, må man forvente, at ammoniakkoncentrationen i atmosfæren ikke vil kunne komme op på en koncentration over ca. 50 mg/m<sup>3</sup>. Dette er den arbejdsmiljømæssigt værst tænkelige (om end urealistiske) situation, som endda kræver, at betonen har henligget i et lukket rum i 8 timer.

Grænseværdien for arbejde i ammoniakholdig atmosfære er 14 mg/m<sup>3</sup> over en 8 timers periode. Der tillades, at koncentrationen i perioder når op på det dobbelte (28 mg/m<sup>3</sup>), blot gennemsnitskoncentrationen ikke overskrider 14 mg/m<sup>3</sup>.

Lugtgrænsen for ammoniak er ca. 3,5 - 35 mg/m<sup>3</sup>. På øjnene virker ammoniak irriterende i koncentrationer over ca. 70 mg/m<sup>3</sup> og øjeblikkelig irriterende ved koncentrationer over 500 mg/m<sup>3</sup>. Indånding af dampkoncentrationer over 3.500 - 4.500 mg/m<sup>3</sup> kan medføre lungeødem, nyresvigt og vejrtrækningsstop. Eksponering for 1.800 - 3.000 mg/m<sup>3</sup> i 30 minutter er dødelig (Ref.: "Kemikalier og sikkerhed" udgivet af Sikkerhedsudvalget for Kemiske Industrier).

Grænseværdien for ammoniak i arbejdsmiljøet kan teoretisk overskrides ved udstøbning af beton i lukkede rum, men det vil ikke være muligt ved udstøbning af beton at komme op på koncentrationer, der er akut giftige.

Man må desuden forvente, at blot en begrænset udluftning af et rum, hvor der støbes beton med flyveaske, der indeholder 200 mg ammoniak pr kg, vil bringe koncentrationen af ammoniak i indåndingsluften under grænseværdien på 14 mg/m<sup>3</sup>.

Ved omrøring af en mørtelblanding frigives ammoniak relativt hurtigt. Forsøgsresultaterne i denne forbindelse er imidlertid vanskelige at tolke, da afdampningen sandsynligvis påvirkes af den temperaturstigning, som blanderen giver anledning til.

## 4. Konklusion

- Koncentrationen af ammoniak, som måles i klimakammer uden luftskifte, er tæt på ligevægt og derfor udtryk for den værst tænkelige situation rent arbejdsmiljømæssigt. Grænseværdien på  $14 \text{ mg/m}^3$  kan teoretisk overskrides; men det er usandsynligt, at dette i praksis skulle ske i arbejdslokaler med normalt luftskifte.
- Anvendelsen af superplast påvirker ikke afdampningshastigheden af ammoniak i nævneværdig grad.