

Var står vi när det gäller fuktberäkningar i betong?

Lars-Olof Nilsson
Moistenginst AB

Var står vi när det gäller fuktberäkningar i betong?

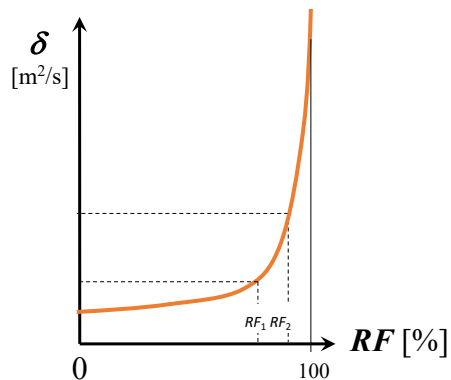
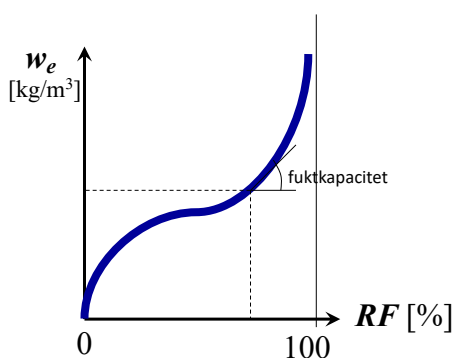
- Fuktberäkningar i andra material
- Fuktberäkningar i betong – vad är så speciellt/svårt?
- Kemisk fuktbindning
- Självuttorkning
- Sorptionskurvor
- Fukttransportegenskaper
- Uttorkning
- Fuktomfördelning
- Fuktmätning – att verifiera mot
- Fuktberäkningar i framtiden

Fuktberäkningar i andra material

Bra beräkningsverktyg (Wufi, KFX, ..)

Randvillkor

TVÅ, fixa fuktegenskaper:



moistenginst AB

FCS ERFA-dag Fuktsakkunniga 2020

3

Fuktberäkningar i andra material

Bra beräkningsverktyg

Randvillkor

TVÅ fixa fuktegenskaper

Här har vi det mesta.

Det är egentligen "bara":

- fukttransport under en temperaturgradient i vissa material,
- kapillärsugning mellan material
- skanning vid fuktvariationer som vi inte klarar.

moistenginst AB

FCS ERFA-dag Fuktsakkunniga 2020

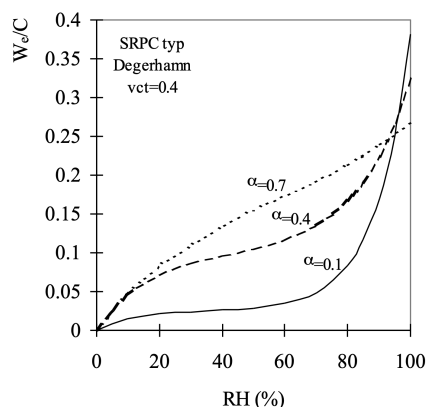
4

Fuktberäkningar i betong – vad är så speciellt/svårt?

Var står vi?
Se [BHB \(2021\), kap 17](#)

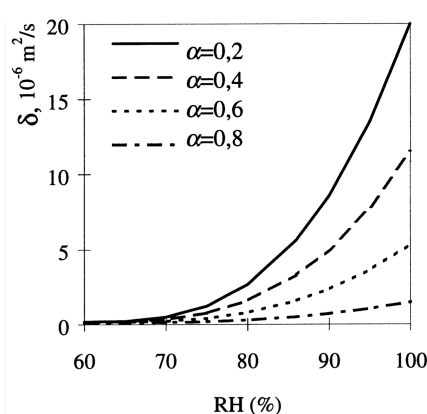
Kemisk fuktbindning!

Fuktegenskaperna:



moistenginst AB

Allt varierar med tiden & djupet!



FCs ERFA-dag Fuksakkunniga 2020

5

Fuktberäkningar i betong – vad är så speciellt/svårt?

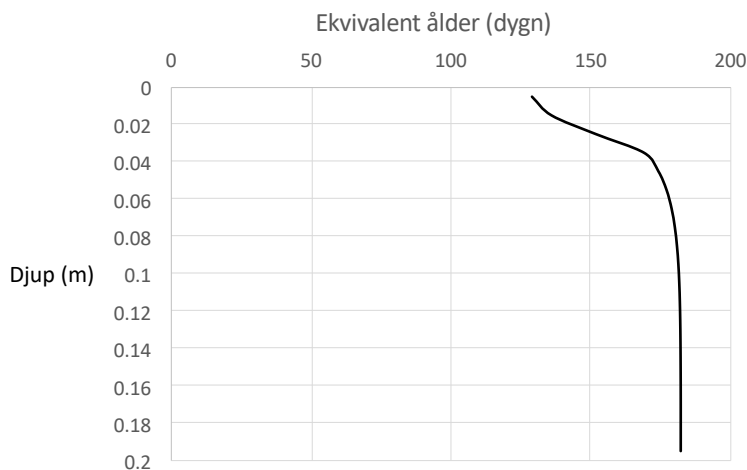
- Kemisk bindning av vatten $w_n(t)$ bidrar (ibland mycket) till uttorkning av betong; kallas just därför för självuttorkning.
- Betongens "ekvivalenta ålder" är olika på olika djup och ändras hela tiden.
- Det finns (därför) "oändligt" många betonger.
- Fuktegenskaperna är åldersberoende! ("ekvivalent ålder" \neq tid!).

moistenginst AB

FCs ERFA-dag Fuksakkunniga 2020

6

Ekvivalent ålder efter 6 månader



moistenginst AB

FCs ERFA-dag Fuktsakkunniga 2020

7

Fuktberäkningar i betong – vad är så speciellt/svårt?

- Kemisk bindning av vatten $w_n(t)$ bidrar (ibland mycket) till uttorkning av betong; kallas just därför för självuttorkning.
- Betongens "ekvivalenta ålder" är olika på olika djup och ändras hela tiden.
- Det finns (därför) "oändligt" många betonger.
- Fuktegenskaperna är åldersberoende! ("ekvivalent ålder" \neq tid!).
- Krävs synnerligen avancerade beräkningsverktyg, som kan allt detta.
- Kraven på osäkerhet i beräkningarna är stora; ställer stora krav på indata!

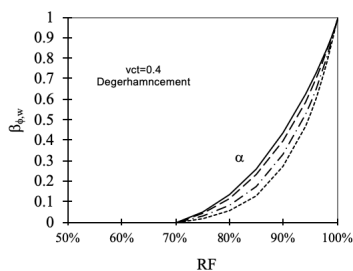
moistenginst AB

FCs ERFA-dag Fuktsakkunniga 2020

8

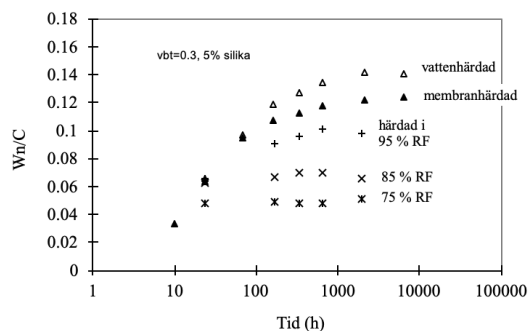
Kemisk bindning av vatten $w_n(t)$, $\alpha(t)$

- Vi har mätmetoderna; det är snabbt gjort att kvantifiera för ett nytt bindemedel.
- $w_n(t)$ beror på T och RF; svårt att kvantifiera.



Inget gjort sedan KNM (1997)!

Exempel:



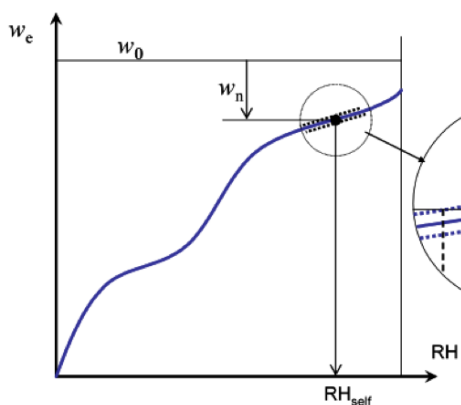
moistenginst AB

FCs ERFA-dag Fuksakkunniga 2020

9

(De)sorptionskurvor $W_e(RF, T, T(t), t_{ekv})$

- Höga krav:



Många studier:

- Ahlgren (1972) (OPC)
- Nilsson (1980) (OPC)
- Xu (1992) (flygaska)
- Atlassi (1993) (silika)
- Baroghel-Bouny (1994) (2007) (OPC & silika).
- Norling-Mjörnell (1997) (OPC & Si, $f(\alpha)$)
- Sjöberg et al (2002) ($f(T)$)
- Åhs (2011) (skanning)
- Saeidpour (2015) (OPC, SF, slagg, hysteres)
- Olsson (2018) (OPC & Slagg)
- Stelmarczyk et al (2019) (Bas)
- Linderoth (2020) (OPC & flygaska, $f(t)$)

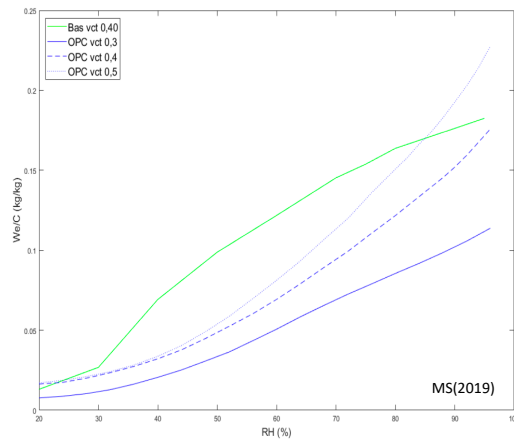
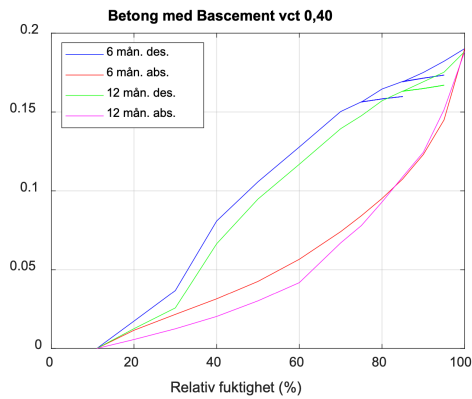
moistenginst AB

FCs ERFA-dag Fuksakkunniga 2020

10

(De)sorptionskurvor $W_e(RF, T, T(t), t_{ekv})$

- PPB har skapat förvirring:



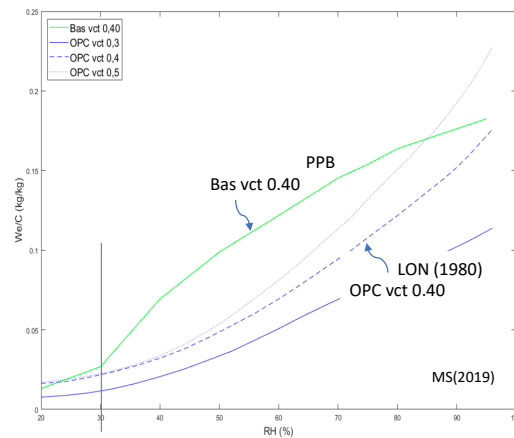
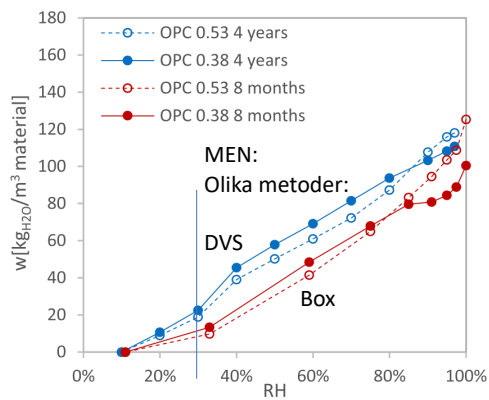
moistenginst AB

FCs ERFA-dag Fuksakkunniga 2020

11

(De)sorptionskurvor $W_e(RF, T, T(t), t_{ekv})$

- NO (2018) fick liknande kurvform över 30 % RF: (vi trodde att det var pga högre ålder)



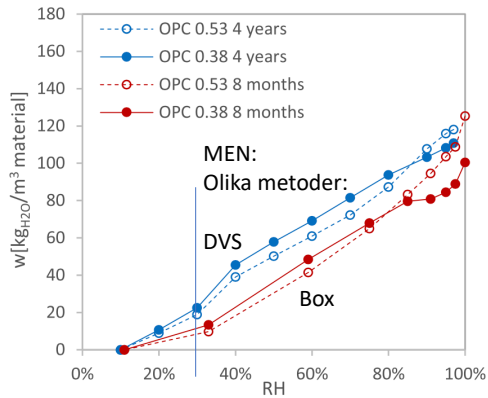
moistenginst AB

FCs ERFA-dag Fuksakkunniga 2020

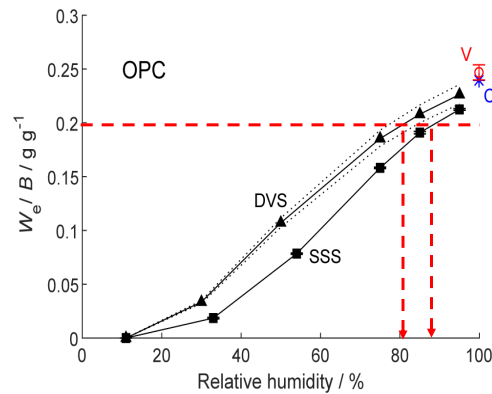
12

(De)sorptionskurvor $W_e(RF, T, T(t), t_{ekv})$

- NO (2018) fick liknande resultat vid två olika ålder:

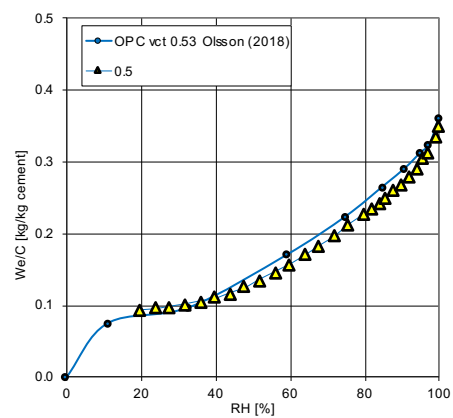
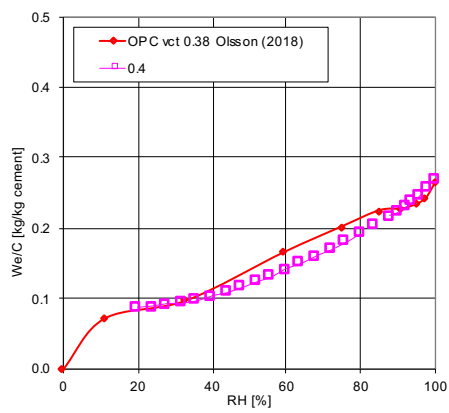


- OL(2020) har förklaringen. Olika metoder!



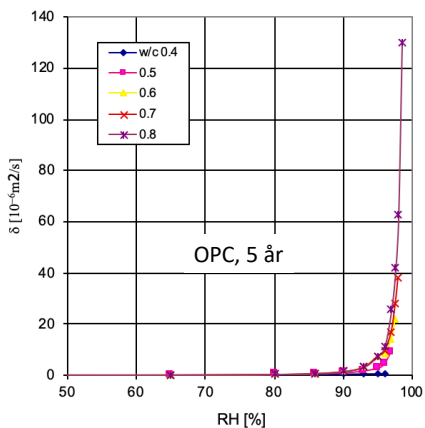
(De)sorptionskurvor $W_e(RF, T, T(t), t_{ekv})$

- LON (1980) stämmer rätt hyfsat: (med NOs box-data)



Fukttransportkoefficienter $\delta(RF, (T), t_{ekv})$

- Vi har länge bara haft GHs data från 1993 & 1996:



Några nyare studier:

- Åhs (2011) (OPC)
- Saeidpour & LW(2015) (OPC, SF, slagg, hysteres)
- Olsson et al (2018) (OPC & Slagg)
- Stelmarczyk et al (2019) (Bas)
- Nilsson et al (2019-2020) (Bas, OPC, Bygg, slagg)
- Linderoth & Johansson(2020) (OPC & flygaska)

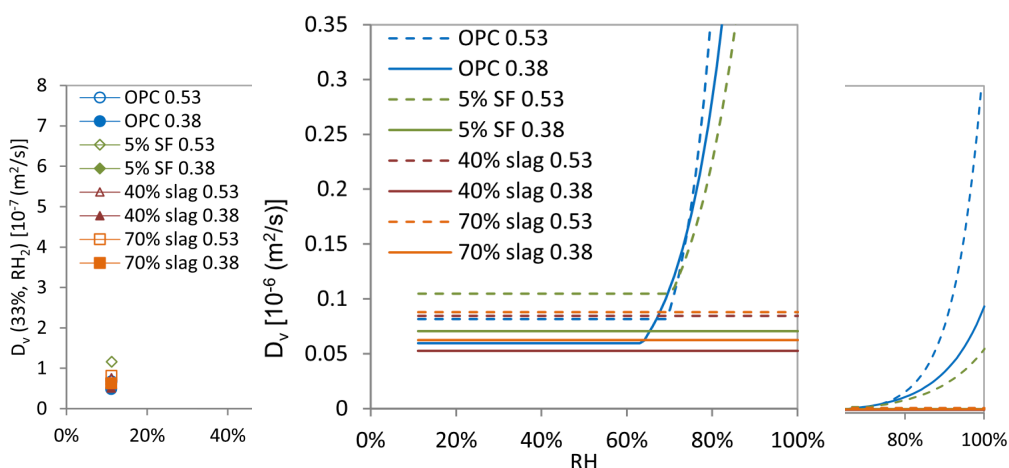
moistenginst AB

FCs ERFA-dag Fuksakkunniga 2020

17

Fukttransportkoefficienter $\delta(RF)$

- NO(2018), 4 år



moistenginst AB

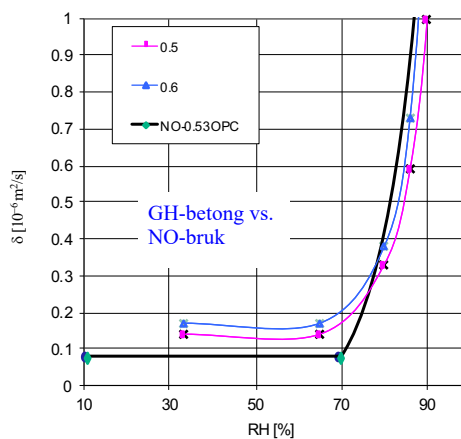
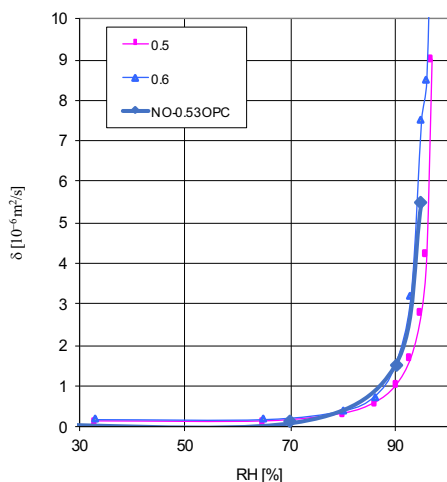
FCs ERFA-dag Fuksakkunniga 2020

18

Fukttransportkoefficienter δ (RF)

• OPC

• NO(2018) vs. GH(1993)



moistenginst AB

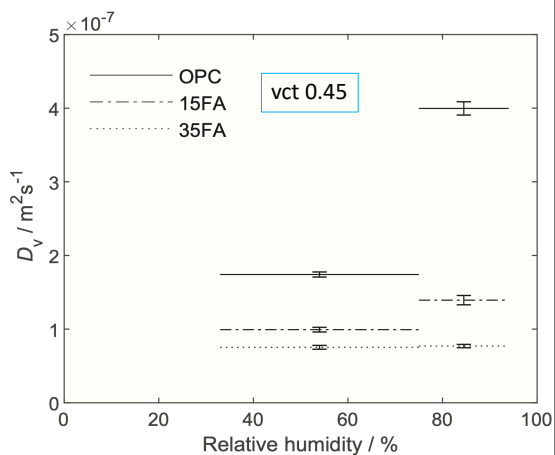
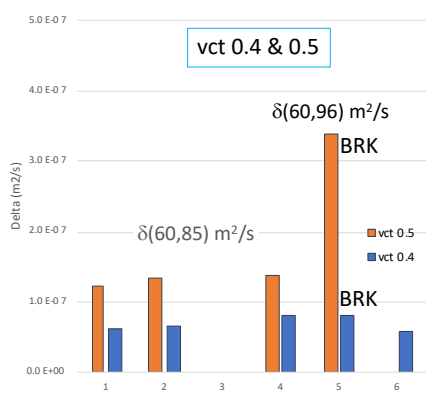
FCs ERFA-dag Fuksakkunniga 2020

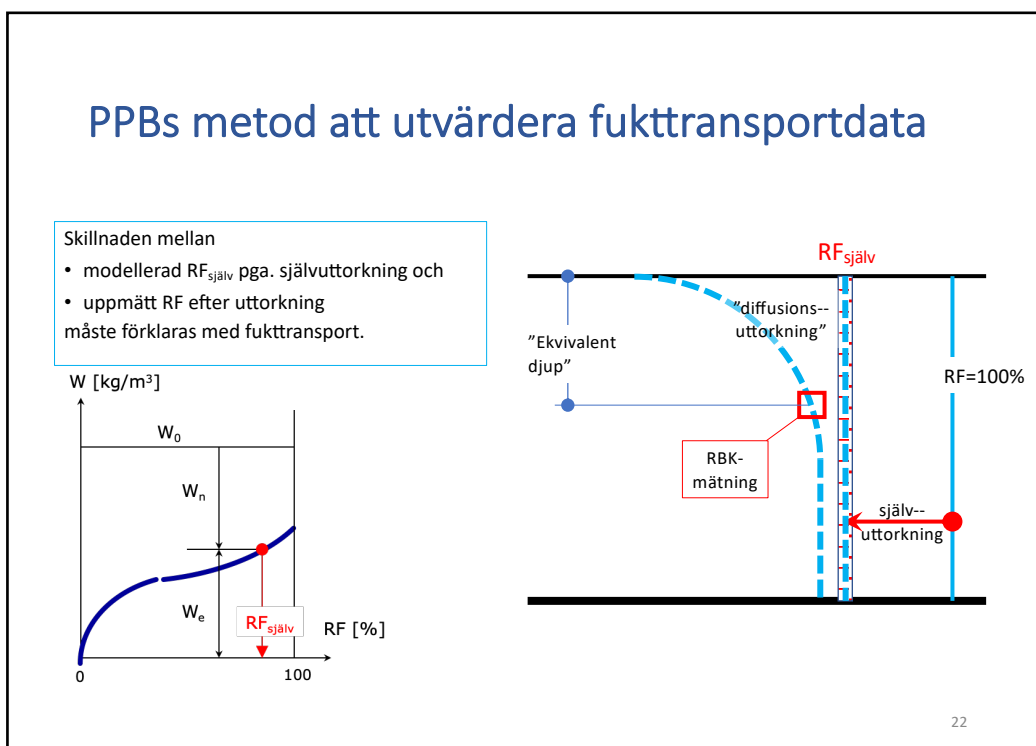
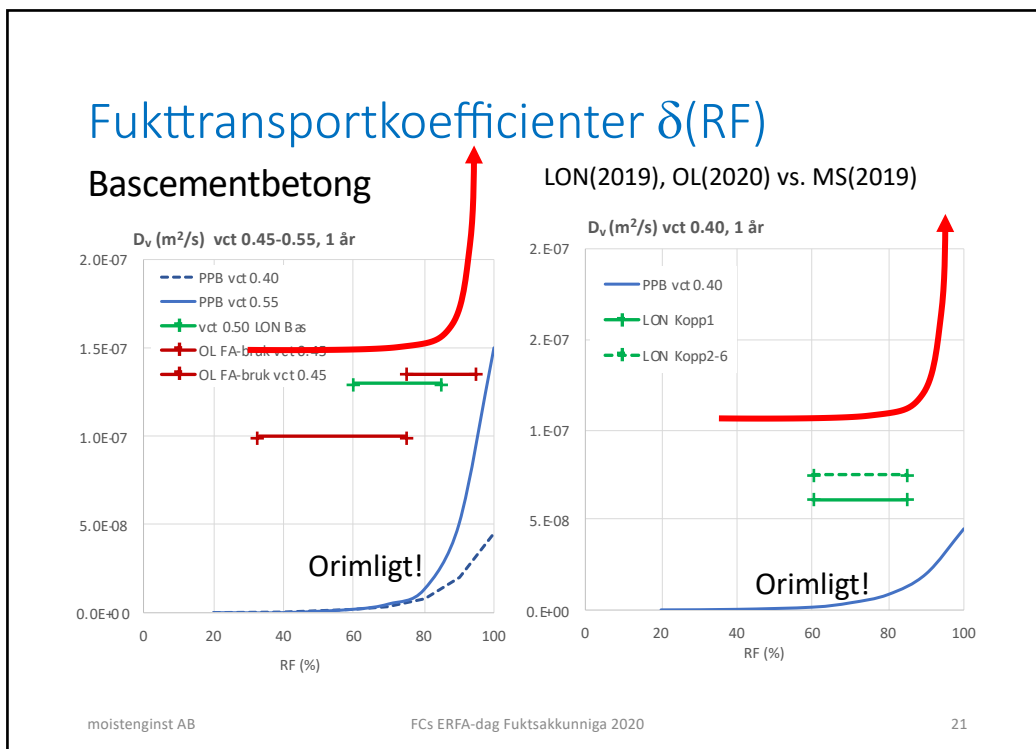
19

Fukttransportkoefficienter δ (RF)

• LON & KB (2019) Bas, 1 år

• OL & PJ(2020) FA-bruk, 1 år



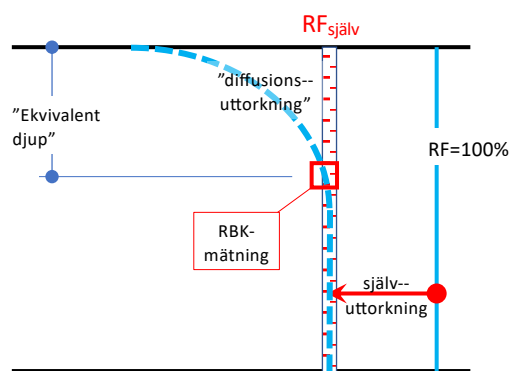


PPBs metod att utvärdera fuktransportdata

Skillnaden mellan

- modellerad $RF_{själv}$ pga. självuttorkning och
- uppmätt RF efter uttorkning måste förklaras med fuktransport.

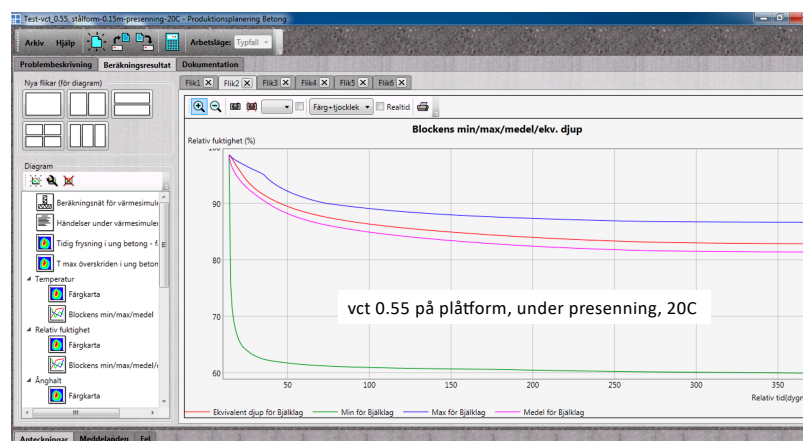
- Modellen överskattar sannolikt självuttorkningen.
- (RBK-mätningen underskattar kanske uttorkningen)
- "Utrymmet" för fuktransport däremellan blir för litet.



Mätning av $\delta(RF)$ gjordes, men värdena blev "för höga"!

23

Självuttorkning – i PPB



- Svårt att simulera i PPB – finns ingen tät täckning.
- Den blå kurvan, innan brytpunkten, bör vara självuttorkning.
- Den "pekar mot" låg $RF \ll 96\%$ pga självuttorkning.

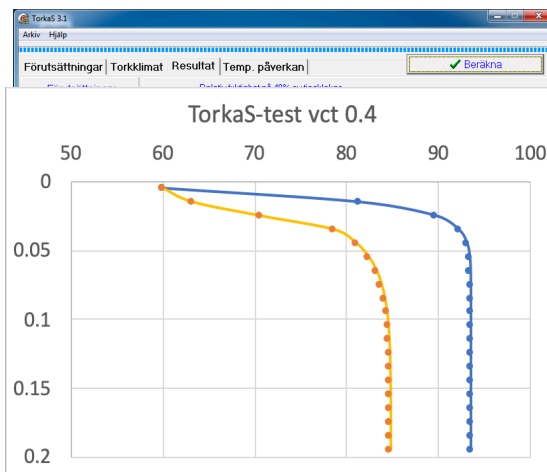
24

Men vi har ju TorkaS(?)

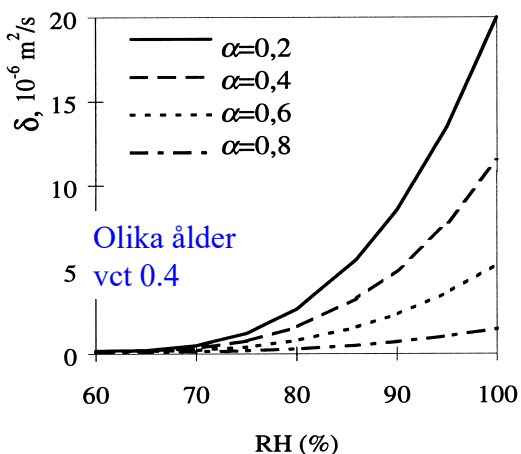
- Vi vet vad som ingår
- Vi vet hur "allt" behandlas
- Stor användarvänlighet
- Vi kan t o m få RF-profiler

Men

- Påstås ge fel vid låga vct
- Data för Byggcementbetong!
- En del tveksamheter
- Får inte uppdateras!
- Vad ska vi verifiera mot?



Fuktransportkoefficienter δ (RF, (T), t_{ekv})



- Dags att mäta vid yngre ålder!
- Burkmetoden borde fungera!
 - t o m i ung ålder (?)

Uttorkningsberäkningar- Comsol

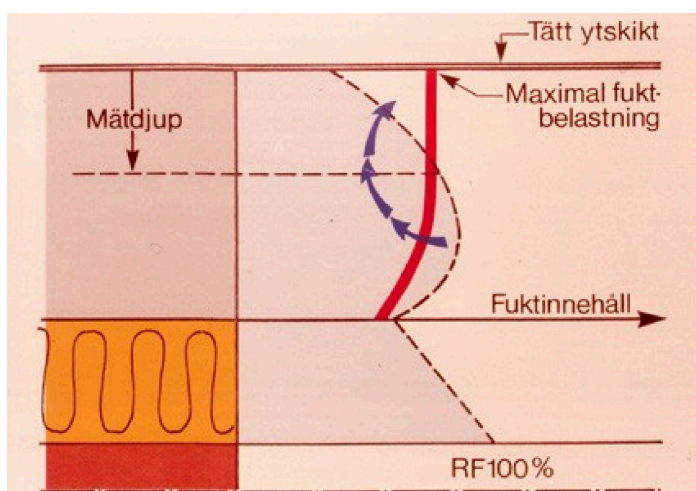
- "Öppen" Black-Box
- Vi vet vad som finns i
- Det går att uppdatera
- BI-dry utvecklas här
- Magnus har "koll"!

moistenginst AB

FCs ERFA-dag Fuktsakkunniga 2020

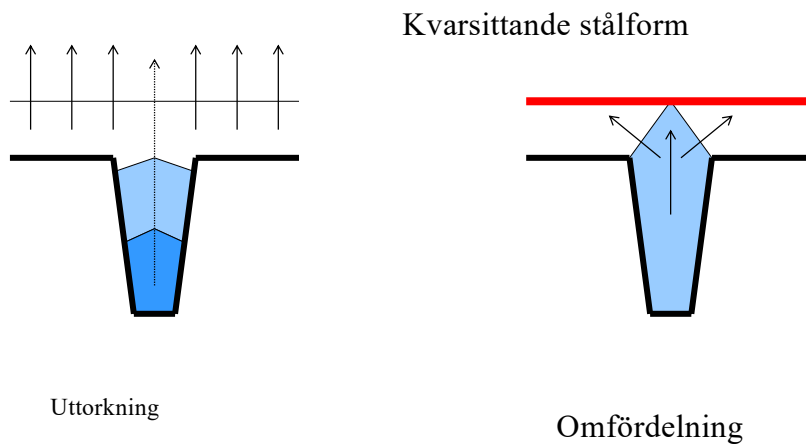
27

Fuktomfördelningsberäkningar – har gjorts sedan länge



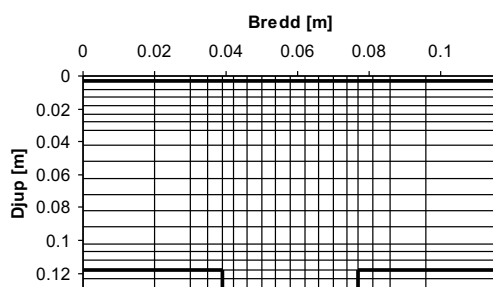
1979(!)

Fuktomfördelningsberäkningar – har handlat mer om 2D-beräkningar

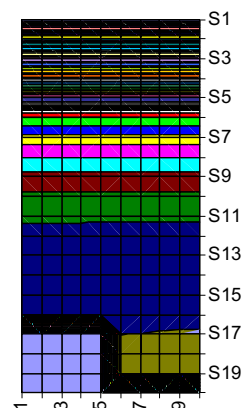


Fuktomfördelningsberäkningar – har handlat mer om 2D-beräkningar

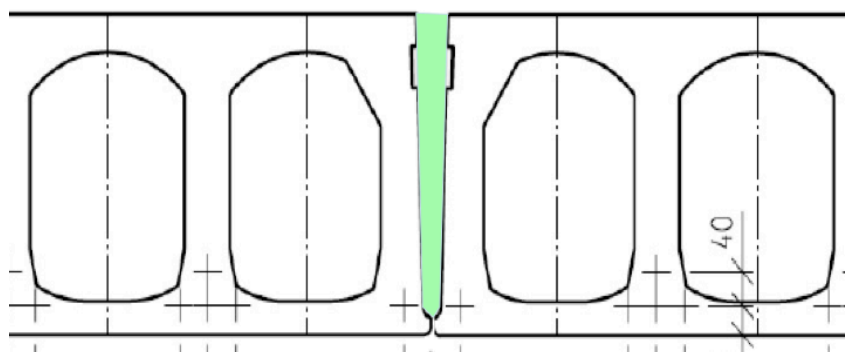
Korrugerad plåtförm



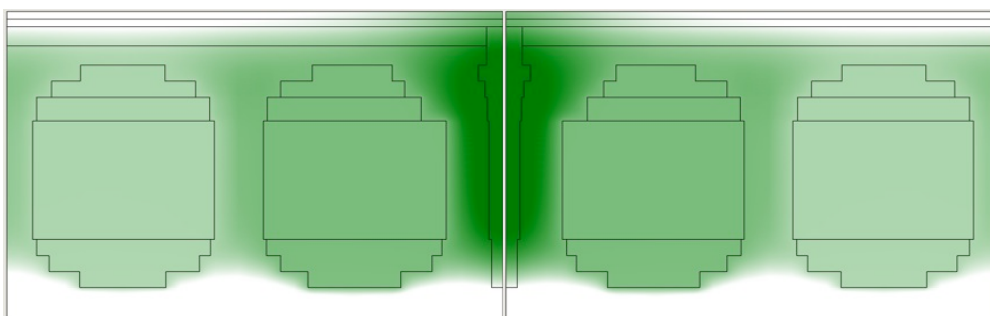
OBS! Djup och bredd
är ej skalenlig!



Beräkningar i 2D – fungerar faktiskt i Wufi2D!

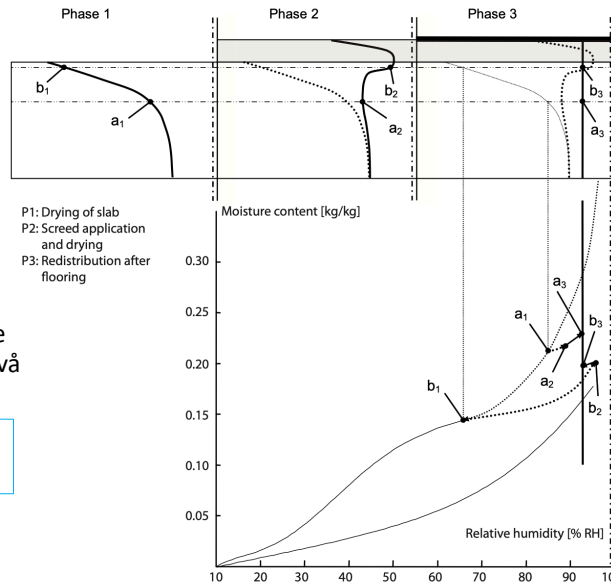


2D-beräkning – också med hålrum



- Beräkning gjord av Mathias Lindskog, då AK-konsult

Fuktomfördelningsberäkningar



- Åhs (2011) lyfte till en annan nivå

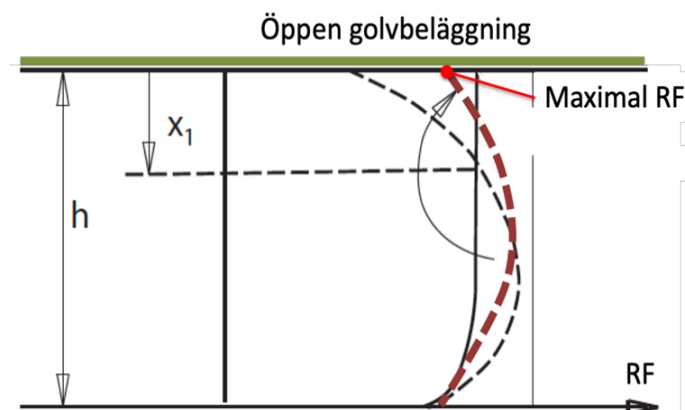
• Men helt tätt ytskikt

moistenginst AB

33

Fuktomfördelningsberäkningar

Z_{btg} vs. $Z_{ytskikt}$



moistenginst AB

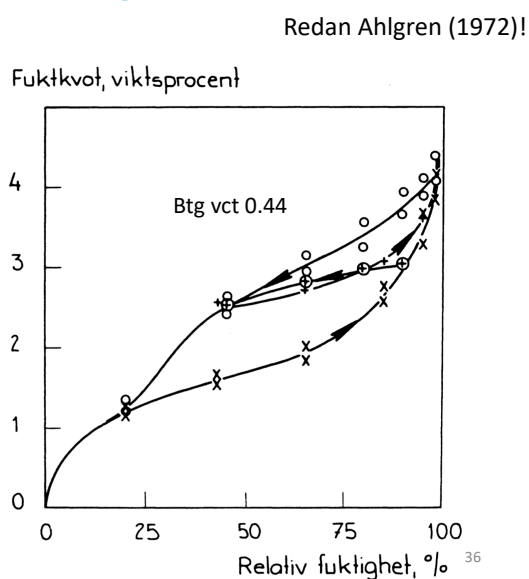
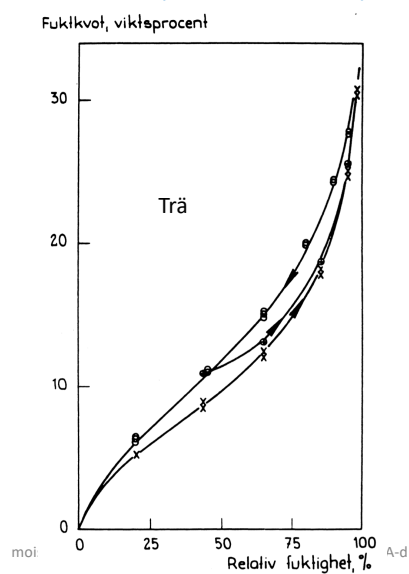
FCs ERFA-dag Fuktsakkunniga 2020

34

Mina erfarenheter av fuktomfördelningsberäkningar

- 75 % av jobbet är att ta fram materialegenskaper!
- Resultatet är helt beroende av vilka materialegenskaper man använder!
- Man lär sig, med tiden, att det är svårt!
- Alla nödvändiga data finns inte tillgängliga!
- Man måste göra förenklingar/antaganden.

Fuktomfördelningsberäkningar - vi har (en hel del) skanningkurvor



Fuktomfördelningsberäkningar - vi har (en hel del) skanningkurvor

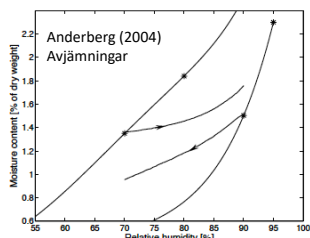


Figure 11 – Scanning curve for SLC A, absorption from desorption mode (70 to 90% RH) and desorption from absorption mode (90 to 70% RH).

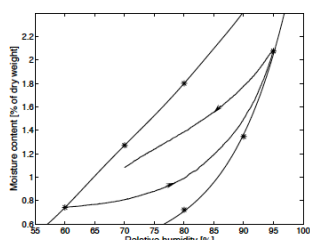
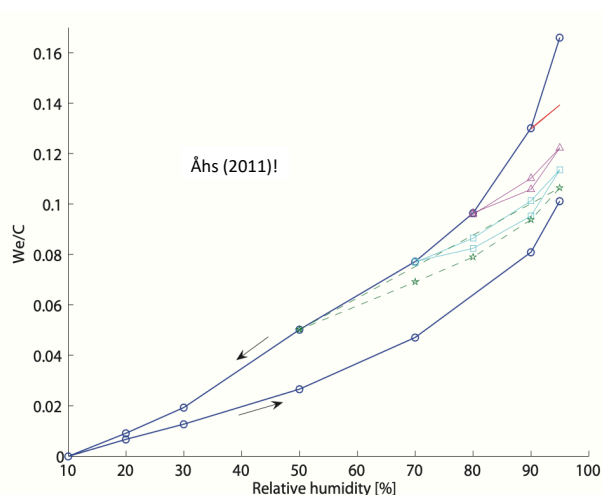


Figure 12 – Scanning curve for SLC A (three months old), absorption from desorption mode (55 to 95% RH) and desorption from absorption mode (95 to 70% RH).
Paper II-12



Åhs (2011)!

Fuktomfördelningsberäkningar vs. uttorkningsberäkningar

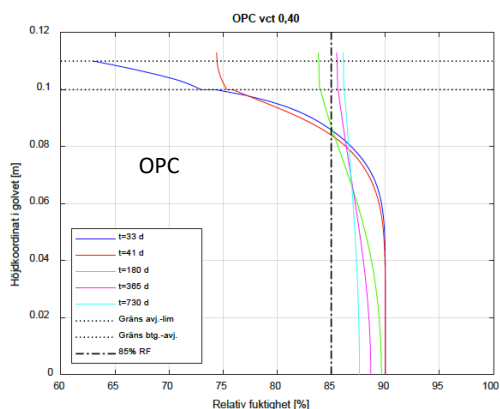
Svårare:

- Uppfuktning kräver skanningkurvor, olika för varje djup!
- Ytskiktens Z är Z(RF)
- Ibland 2D

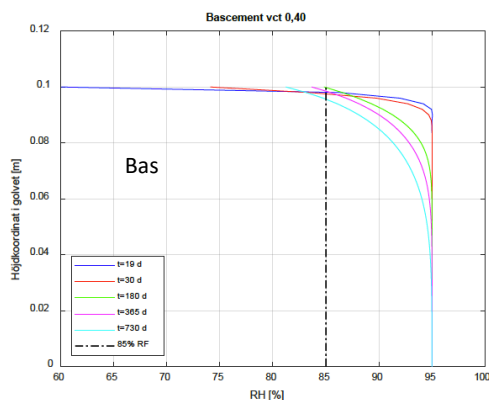
Lättare:

- Relativt välhärdad betong (men betongytan!)
- Mindre effekt av betongens fortsatta härdning
- Andra beräkningsverktyg

MEN: PPB kommer med fuktomfördelningsberäkningar. Farligt!



Självtorkning till 90 % RF
+ 30 dygn i 60 % RF: > 85 % RF



Självtorkning till 95 % RF
+ 20 dygn i 60 % RF: < 85 % RF

Från SBUF 13354-slutrapport 2019-05-10

Fuktomfördelningsberäkningar

- Vägledning på väg!

moistenginst AB

FCs ERFA-dag Fuk

Utkast 1/2020-10-26/LON/+SOMP+MO-Rev2_2020-11-05

Vägledning för fuktomfördelningsberäkningar i betonggolvs konstruktioner

Anders Kumlin, Anders Kumlin AB, Stockholm
Sture Lindmark, FuktCom AB, Lund
Mathias Lindskog, Fuktanalys AB, Ängelholm
S. Olof Mundt-Petersen, AK-konsult indoor air AB, Stockholm(?)
Lars-Olof Nilsson, Moistenginst AB, Trelleborg
Nilla Olsson, NCC Sverige AB, Malmö
Mikael Oxfall, NCC Sverige AB, Stockholm(?)
Johan Tannfors, AK-konsult indoor air AB, Uppsala

1. SYFTE	2
2. TIDIGA FÖRBEREDELSE - KOMPETENSKRAV	3
2.1 Kompetenskrav	4
3. DEFINIERA OBJEKTET	5
3.1 Bjällrigets geometri	5
3.2 Material & materialkvaliteter	5
3.3 Omgivningförhållanden och tidplan	5
4. KVANTIFIERA MATERIALEGENSKAPER	7
4.1 Betong	7
4.2 Avjämning	8
4.3 Golvmaterial	8
4.4 Lim	10
4.5 Andra material	10
4.6 HDf-plattor och plattbärlag	10
5. KVANTIFIERING AV INITIAL FUKTPROFIL FÖRE GOLVLÄGGNING.	11
6. FÖRBEREDELSE INFÖR FUKTOMFÖRDELNINGSBERÄKNING	13
6.1 Definition av startpunkter på absorptionskänningkurvor	13
6.2 Hänsyn till fukt	14
7. KVANTIFIERA RANDVILLKOR	15
8. FUKTOMFÖRDELNINGSBERÄKNING	16
8.1 Genomförande av fuktomfördelningsberäkningen	16
8.2 Beräkningsverktyget Wufi	16
8.3 Beräkningsverktyget Wufi2D	17
8.4 Beräkningsverktyget KFX	17
8.5 Beräkningsverktyget Vadbau	18
8.6 Beräkningsverktyget PPB	18
8.7 Beräkningsverktyget V	18
9. RESULTATREDOVISNING	19
9.1 Jämförelse med högsta tillåtna fuktillstånd	20
9.2 Jämförelse med kritiskt fuktillstånd	20
10. DOKUMENTATION AV BERÄKNINGARNA	21
REFERENSER	22
BILAGOR	23
Bilaga 1A. Exempel på dokumentation av en fuktomfördelningsberäkning med Wufi.	24
Bilaga 1C. Exempel på dokumentation av en fuktomfördelningsberäkning med KFX	25
Bilaga 1D. Exempel på dokumentation av en fuktomfördelningsberäkning med Vadbau	26

Fuktberäkningar i betong – vad jämföra med?

- Kritiska fuktnivåer? (RF?, alkalitransport?, ???)
- Kritisk RF \neq "85 % RF" = "Högsta tillåtna fukttillstånd".
Tveksamt
- Tveksam mätmetod för verifiering. RBK-% \neq %RF (?)

Fuktberäkningar i betong – var står vi?

- Sofistikerade beräkningsverktyg!
 - Behöver "öppnas"! Behöver utvecklas!
- Output beror (helt) på input!
 - Bra mätningar fordras!
- Tveksam mätmetod för verifiering. RBK-% \neq %RF (?)
 - Gett högre och högre RBK-%
- "RF_{OK} = 85 %" ligger still. Tveksamt
 - RF_{krit} behöver mätas om!

- TACK för mig!

