
JAGG2025: Revnestyrede betondæk og opdateret indeluftmodul

Tage V. Bote, COWI A/S
Bjarke Hoffmark, COWI A/S

JAGG2025: Revnestyrede betondæk og opdateret indeluftmodul

Og en masse COWI-helte =>



Fedja



Jens



Lukas



Og en lang række gode samarbejdspartnere...

Workshop-deltagere:

- Maria Hag, Region Hovedstaden
- Pernille Holm, Region Hovedstaden
- Mads Georg Møller, Region Hovedstaden
- Arne Rokkjær, Region Hovedstaden
- Lars Frimodt Pedersen, Region Syddanmark
- Per Loll, DMR A/S
- Jes Holm, GEO
- Thomas Larsen, WSP
- Anders G. Christensen, Niras
- Iben Langballe, Rambøll
- Tage V. Bote, COWI A/S
- Bjarke Hoffmark, COWI A/S

Følgegruppe:

- Maria Hag, Region Hovedstaden
- Pernille Holm, Region Hovedstaden
- Mads Georg Møller, Region Hovedstaden
- Lars Frimodt Pedersen, Region Syddanmark
- Per Loll, DMR A/S

Faglig specialist input vedr. JAGG og beregningsmetodik:

- Morten Kjærsgaard, DGE A/S
- Thomas Larsen, WSP
- Mads Georg Møller, Region Hovedstaden
- Per Loll, DMR A/S
- Lars Baltzer Overgaard, Artelia A/S
- Rasmus Haugaard, Artelia A/S

Faglig specialist input og validering vedr. betonteknik:

- Jens Mejer Frederiksen, COWI A/S
- Fedja Arifovic, COWI A/S
- Bent Feddersen, Rambøll

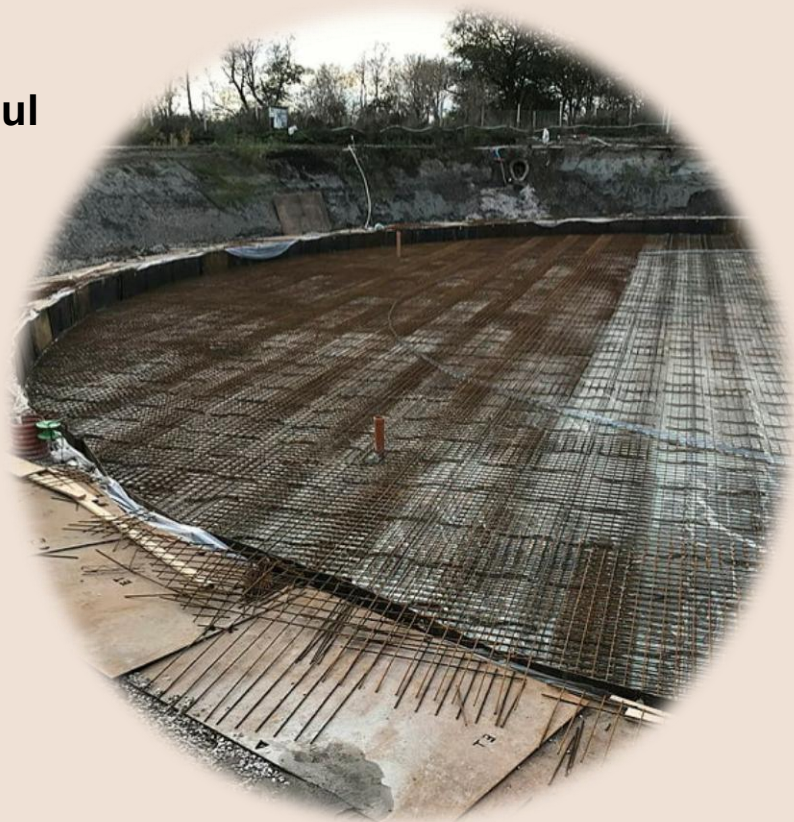
Afprøvning er foretaget af:

- Thomas Larsen, WSP
- Kristine Bräuner Nielsen, Niras
- Charlotte Juhl Søegaard, Norconsult A/S
- Sebastian Andersen, Norconsult A/S
- Iben Langballe, Rambøll
- Anne-Marie Nielsen Weber, Rambøll
- Rasmus N. Nielsen, DGE
- Per Loll, DMR A/S
- Lars Frimodt Pedersen, Region Syddanmark
- Flere sagsbehandlere hos Region Hovedstaden

JAGG2025:

Revnestyrede betondæk og opdateret indeluftmodul

- Hvorfor opdatere JAGG 2.1?
- Hvad er revnestyret betondæk?
- Hvordan sikrer vi at JAGG-beregningerne ikke bliver for konservative?
- Hvad er ændret i indeluftmodulets brugergrænseflade?
(kan jeg genkende JAGG?)
- Kan resultater i JAGG 2.1 og JAGG2025 sammenlignes?
- Salens spørgsmål!



JAGG2025:

Hvorfor opdatere JAGG 2.1

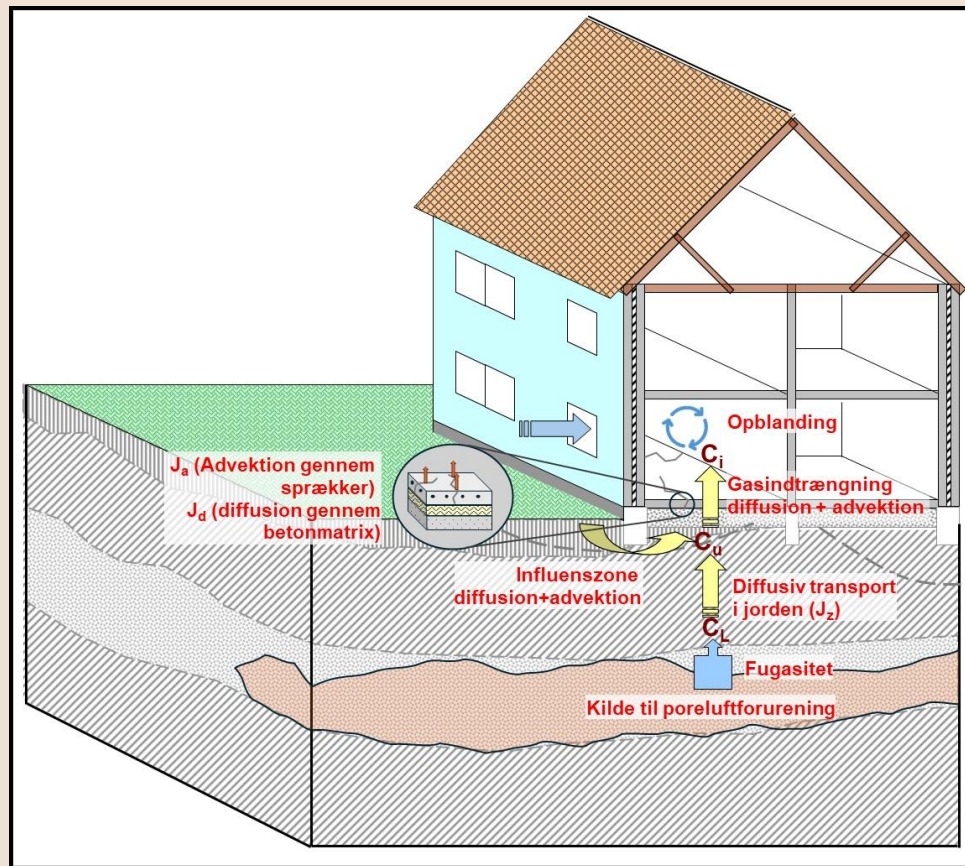
4) Opblanding i indeluften

3A) Diffusion gennem betondæk

3B) Advektion gennem revner i betondæk

2) Diffusion gennem jorden

1) Fugacitet / poreluftkoncentration



JAGG2025:

Hvorfor opdatere JAGG 2.1

4) Opblanding i indeluften

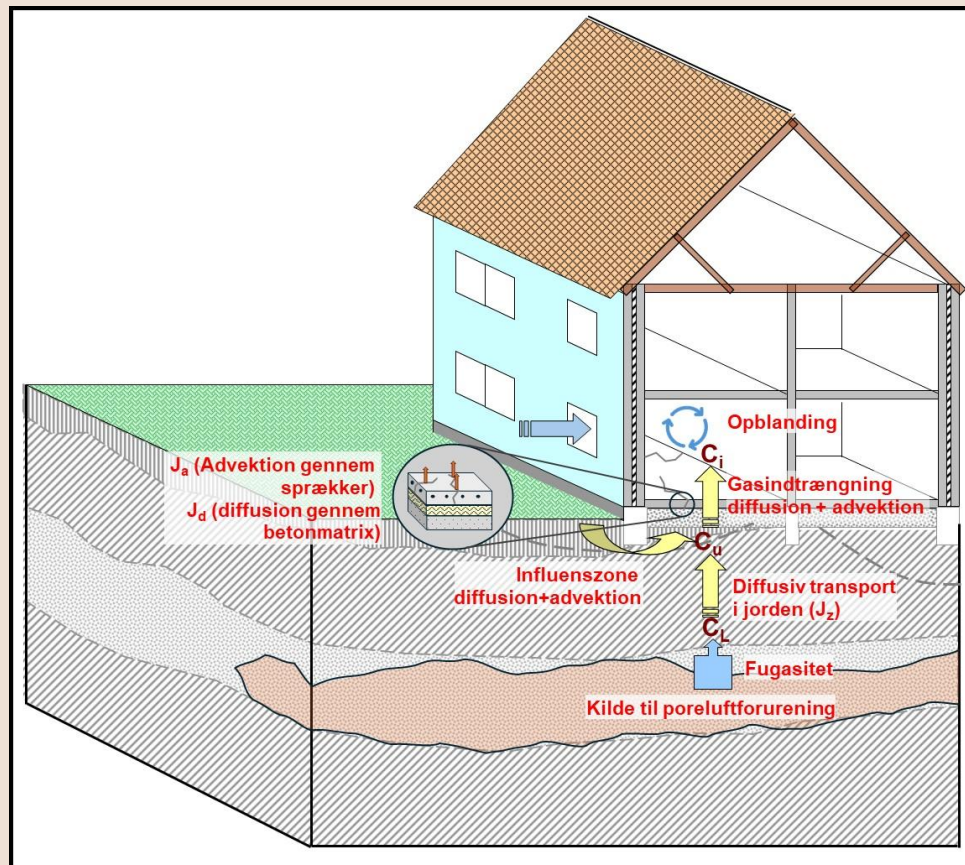
3A) Diffusion gennem betondæk

3B) **Advektion gennem revner i betondæk**

JAGG 2.1 beregner revneudviklingen forkert !

2) Diffusion gennem jorden

1) Fugacitet / poreluftkoncentration



JAGG2025:

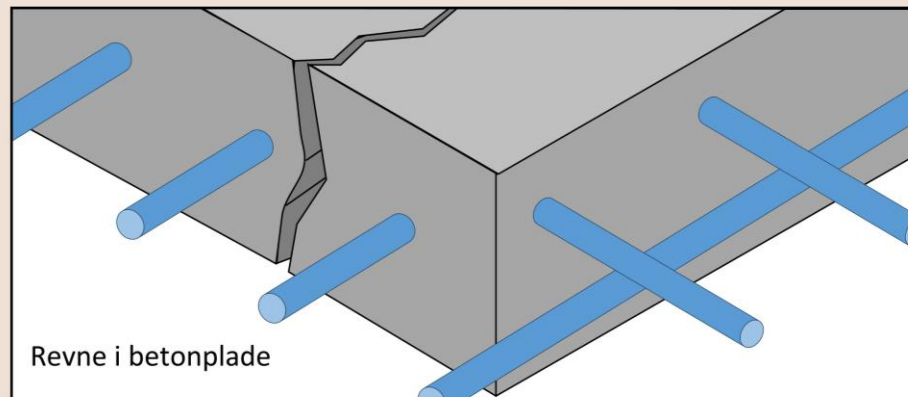
Hvorfor opdatere JAGG 2.1?

- Der findes flere forskellige revnetyper

Sætningsrevner

Svindrevner

Termiske revner



JAGG2025:

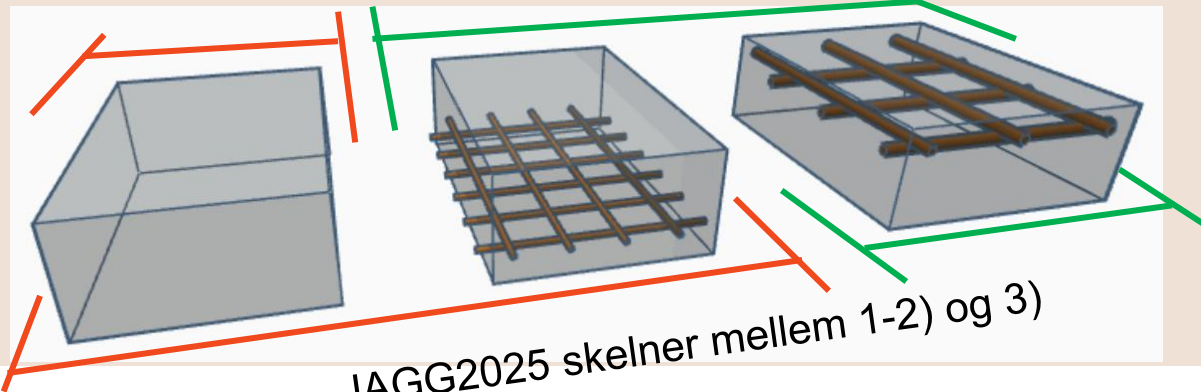
Forskellen på JAGG 2.1 og JAGG2025

- Der forskel på:

- 1) et uarmeret betongulv,
- 2) et jernarmeret betongulv (jernbeton)
- 3) et revnestyret jernarmeret betongulv

PS!
Et fiberarmeret betongulv
er ~~≠~~ revnestyret
jernarmeret betongulv i
JAGG2025!

JAGG 2.1 skelner mellem 1) og 2-3)



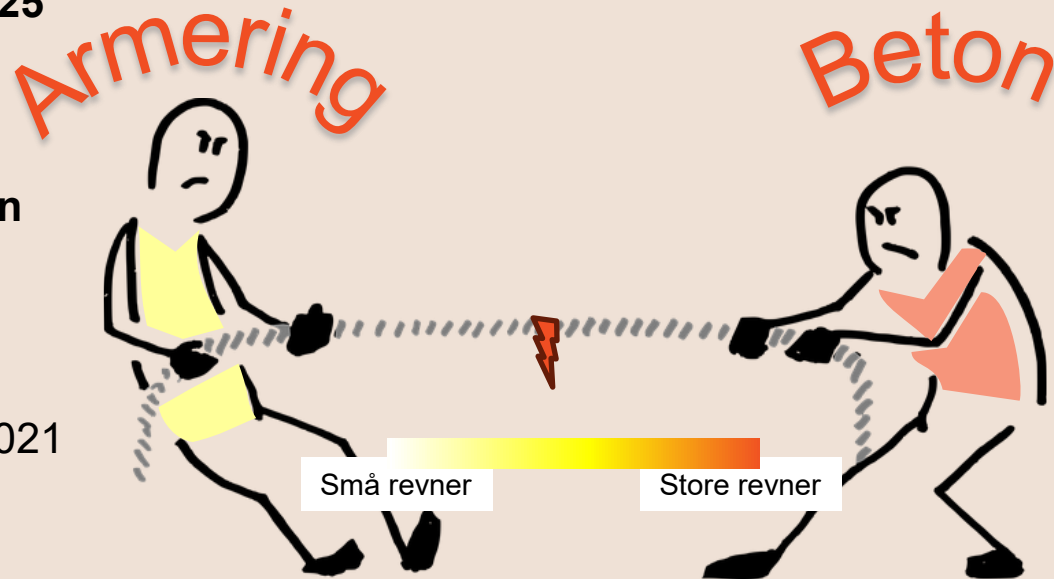
JAGG2025 skelner mellem 1-2) og 3)

JAGG2025:

Forskellen på JAGG 2.1 og JAGG2025

JAGG 2.1 beregner revneudviklingen efter en gammel betonnorm.

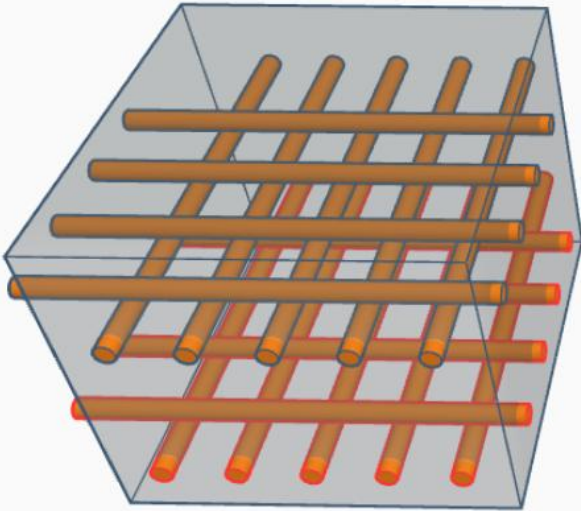
- Betonfolk i Danmark og Europa anvender DS/EN 1992-1-1 DK NA:2021
- Populært kaldet Kvadratrodsformlen



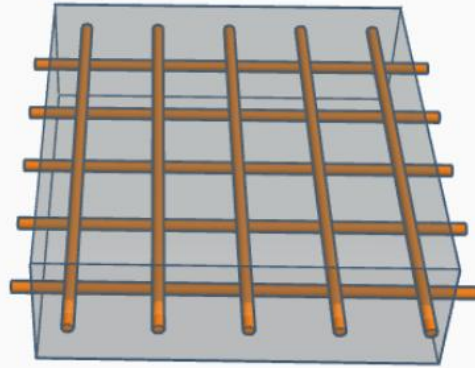
JAGG2025:

Forskellen på JAGG 2.1 og JAGG2025

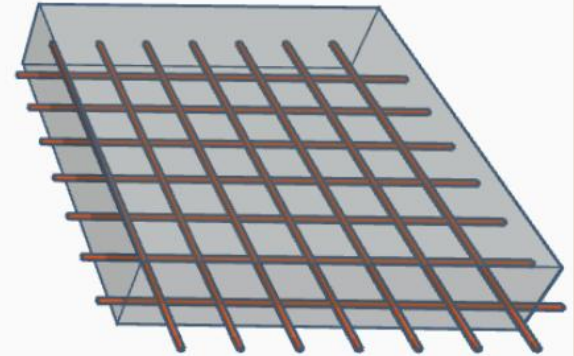
- Revnestyrende RF=5.300
300 mm tykt betondæk
Y12 mm armering 75x75 mm i 2 lag
- Revnestyrende RF=124
120 mm tykt betondæk
Y8 mm armering 100x100 mm
- **Standard JAGG 2.1**
80 mm tykt betondæk
Y3 mm armering 50x50 mm



1.500 kr./m²



275 kr./m²



200 kr./m²

JAGG2025:

Forskellen på JAGG 2.1 og JAGG2025

- JAGG2025 anvender samme termer som betonbranchen
- Og i dag tales der om eksponeringsklasser og ikke miljøklasser
- Der er 18 eksponeringsklasser
- Og: Ukendt beton (den kommer vi tilbage til)



JAGG2025: Forskellen på JAGG 2.1 og JAGG2025

- 18 eksponeringsklasser
- Husk at beton anvendes til meget andet end boligbyggeri og at betonenemnerne skal kunne modstå mange forskellige påvirkninger, f.eks.:
 - Belastningen af emnet – vibrationer og last
 - Slid på overfladen,
 - Frost og tø,
 - Fugtpåvirkning
 - Kemisk påvirkning f.eks. fra klorid, sulfater, o.l.
- Det er ikke alle kombinationer der giver mening ved boligbyggeri



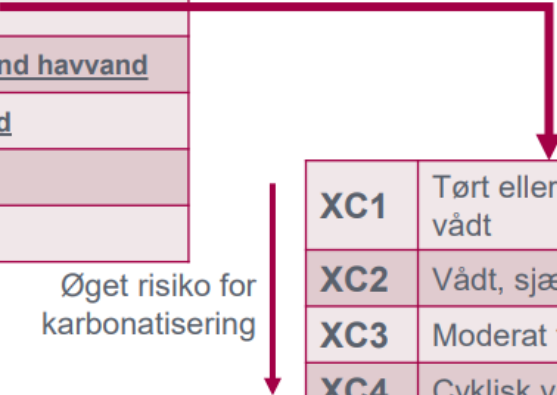
Eksponerings- klasse
X0
XC1
XA1
XC2
XC3
XC4
XF1
XA2
XD1
XF2
XF3
XS1
XS2
XA3
XD2
XD3
XF4
XS3

JAGG2025: Forskellen på JAGG 2.1 og JAGG2025

- 18 eksponeringsklasser
 - Fugtpåvirkning
 - Kemisk påvirkning f.eks. fra klorid, sulfater, o.l.

Eksponeringsklasse	Beskrivelse af påvirkning
X0	Ingen risiko for korrosion eller fugtpåvirkning
XC (1-4)	Risiko for korrosion forårsaget af <u>karbonatisering</u>
XD (1-3)	Risiko for korrosion forårsaget af <u>klorider</u> fra <u>andet end havvand</u>
XS (1-3)	Risiko for korrosion forårsaget af <u>klorider</u> fra <u>havvand</u>
XF (1-4)	Risiko for <u>frost/tø</u> påvirkning
XA (1-3)	Risiko for <u>kemisk</u> påvirkning

Øget risiko for
karbonatisering



XC1	Tørt eller permanent vådt
XC2	Vådt, sjældent tørt
XC3	Moderat fugtighed
XC4	Cyklisk vådt og tørt

JAGG2025: Forskellen på JAGG 2.1 og JAGG2025

- Ud fra et JAGG / revneteknisk hensyn kan:
- De 18 eksponeringsklasser inddeles i fire grupper der svarer til de fire gamle miljøklasser (Passiv, Moderat, Aggressiv og Ekstra aggressiv).
- Der hver har samme revne karakteristika.
- **Ukendt beton**
- Tænkes anvendt til eksisterende byggeri
- I modsætning til alle de øvrige eksponeringsklasser, så er alle beton og armerings data låst og kan ikke ændres
- Tykkelsen af betondækket er begrænset til 80-120 mm

Eksponerings- klasse
X0
XC1
XA1
XC2
XC3
XC4
XF1
XA2
XD1
XF2
XF3
XS1
XS2
XA3
XD2
XD3
XF4
XS3

JAGG2025: Forskellen på JAGG 2.1 og JAGG2025

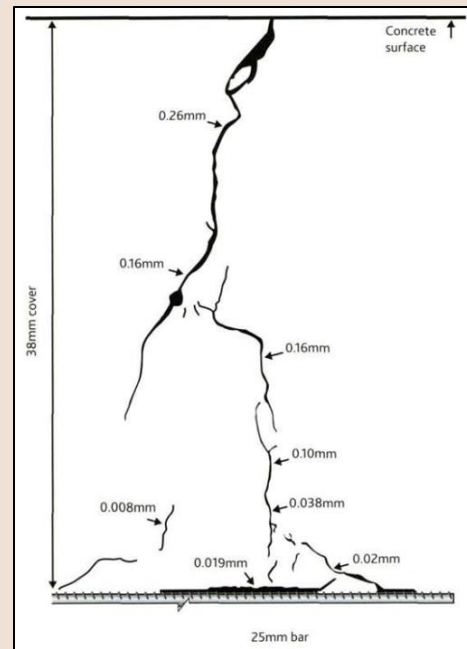
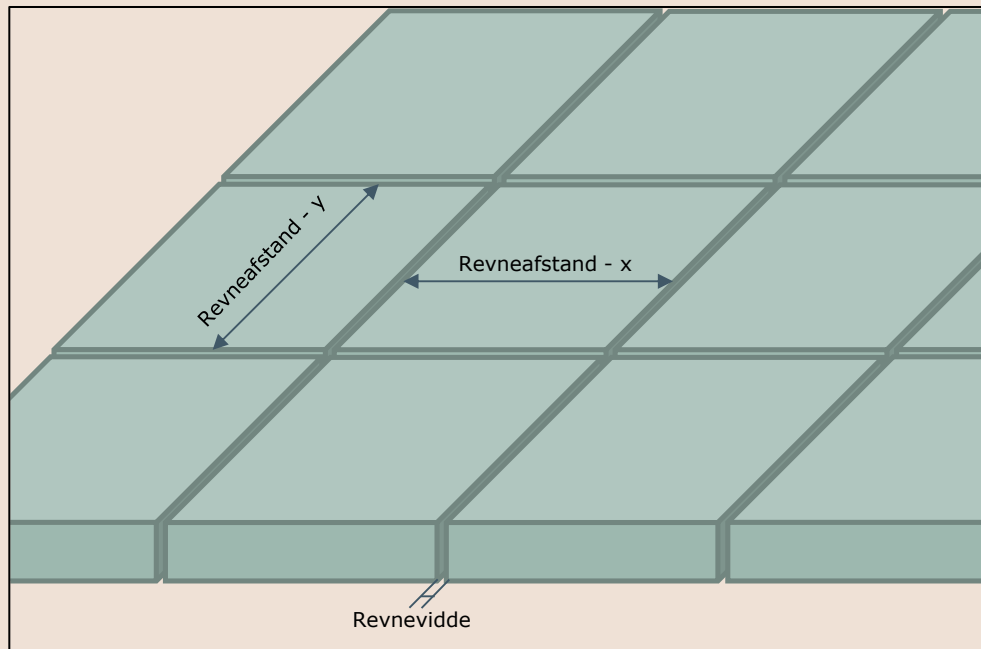
- Default værdier for de 18 eksponeringsklasser + Ukendt beton
- Der er hjælp at hente:

Eksponeringsklasse	Cementklasse	alfa_ds1	alfa_ds2	alfa	f_ck [MPa]	f_ck_min [MPa]	f_ck_max [MPa]	hb [mm]	hb_min [mm]	hb_max [mm]	X_top	d_ax [mm]	DELTA _{b-x} [mm]	Min-dæklagstykh _d -min [mm]	d_ay [mm]	DELTA _{b-y} [mm]	Antal armen_arm	E _c [GPa]
X0	N	4	0.12	0	25	10	45	100	80	500	Ja	6	75	10	6	75	1	30
XA1	N	4	0.12	0	30	20	45	100	80	500	Ja	8	100	20	8	100	1	33
XA2	R	6	0.11	1	35	30	45	120	80	500	Ja	10	125	30	10	125	1	34
XA3	S	3	0.13	-1	40	40	45	200	80	500	Ja	8	100	40	8	100	2	35
XC1	N	4	0.12	0	25	10	45	100	80	500	Ja	6	75	10	6	75	1	30
XC2	N	4	0.12	0	30	20	45	100	80	500	Ja	8	100	20	8	100	1	33
XC3	N	4	0.12	0	30	20	45	100	80	500	Ja	8	100	20	8	100	1	33
XC4	N	4	0.12	0	30	20	45	100	80	500	Ja	8	100	20	8	100	1	33
XD1	R	6	0.11	1	35	30	45	120	80	500	Ja	10	125	30	10	125	1	34
XD2	S	3	0.13	-1	40	40	45	200	80	500	Ja	8	100	40	8	100	2	35
XD3	S	3	0.13	-1	40	40	45	200	80	500	Ja	8	100	40	8	100	2	35
XF1	N	4	0.12	0	30	20	45	100	80	500	Ja	8	100	20	8	100	1	33
XF2	R	6	0.11	1	35	30	45	120	80	500	Ja	10	125	30	10	125	1	34
XF3	R	6	0.11	1	35	30	45	120	80	500	Ja	10	125	30	10	125	1	34
XF4	S	3	0.13	-1	40	40	45	200	80	500	Ja	8	100	40	8	100	2	35
XS1	R	6	0.11	1	35	30	45	120	80	500	Ja	10	125	30	10	125	1	34
XS2	R	6	0.11	1	35	30	45	120	80	500	Ja	10	125	30	10	125	1	34
XS3	S	3	0.13	-1	40	40	45	200	80	500	Ja	8	100	40	8	100	2	35
Ukendt betondæk	N	3	0.12	0	13	10	25	80	80	120	Ja	4	48	10	4	48	1	27

Sorter alfabetisk
Sorter e. betontype
Søg:
☐ Nulstil systemværdier
 OK
Fortryd

JAGG2025:

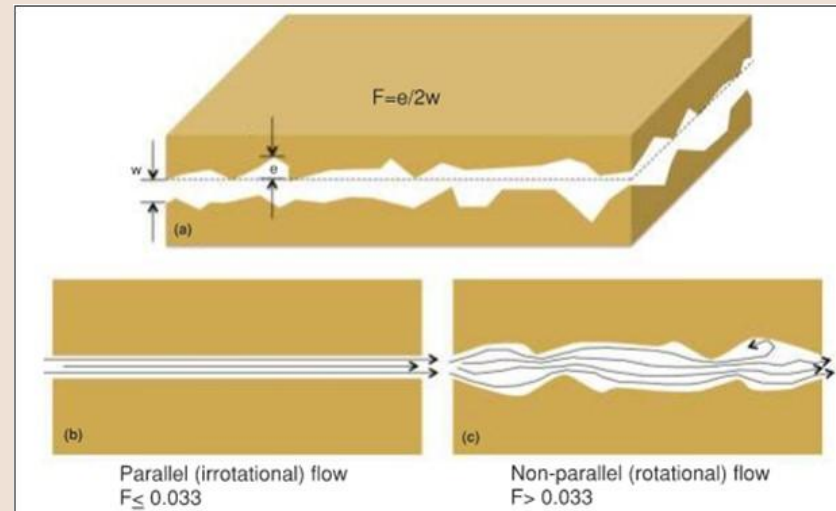
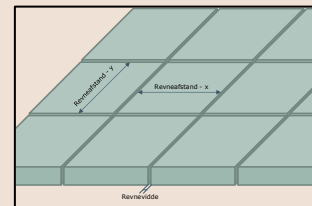
Hvordan sikrer vi at JAGG-beregningerne ikke bliver for konservative?



JAGG2025:

Hvordan sikrer vi at JAGG-beregningerne ikke bliver for konservative?

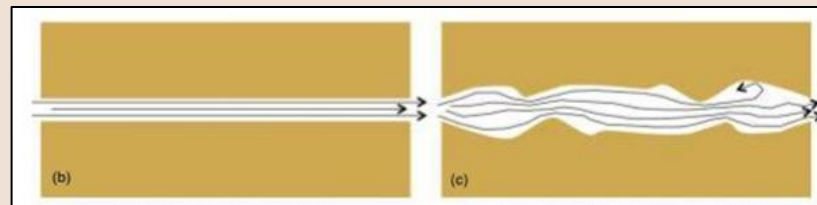
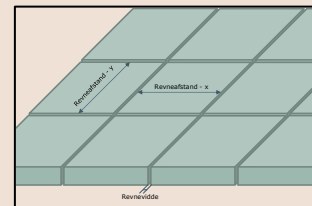
- Anvendelse af den Kubiske formel (Cubic law)
 - I Cubic Law er revnefrakturerne repræsenteret af en glat revne mellem to parallelle flader, under antagelse af laminar flow.
 - Som udgangspunkt medtager den kubiske formel hverken materialets ruhed eller revnens geometri



JAGG2025:

Hvordan sikrer vi at JAGG-beregningerne ikke bliver for konservative?

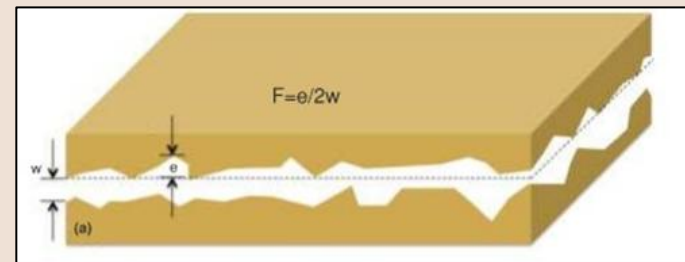
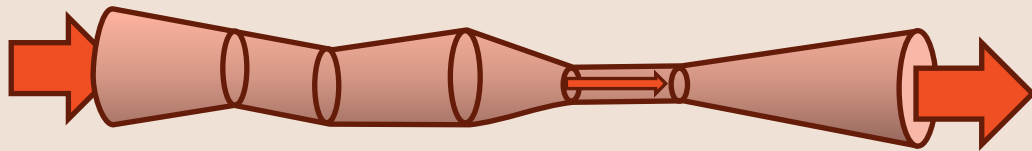
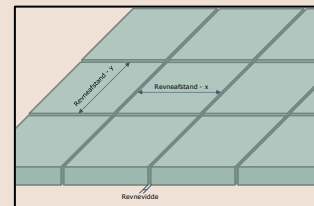
- Anvendelse af den Kubiske formel (Cubic law)
 - Laminar flow?
 - Middelhastigheder i revnen v_r på mellem 0,004 mm/s og 0,0005 mm/s og er Reynolds tal (Re) < 1 m²/s
- Cubic Law er konservativ og overvurderer strømningen i revner specielt ved høje flow.
- Med udgangspunkt i de meget lave lufthastigheder vurderes det, at Cubic Law er anvendelig i JAGG, men at den overvurderer luftflowet, og dermed er konservativ i forhold til risikoberegningen



JAGG2025:

Hvordan sikrer vi at JAGG-beregningerne ikke bliver for konservative?

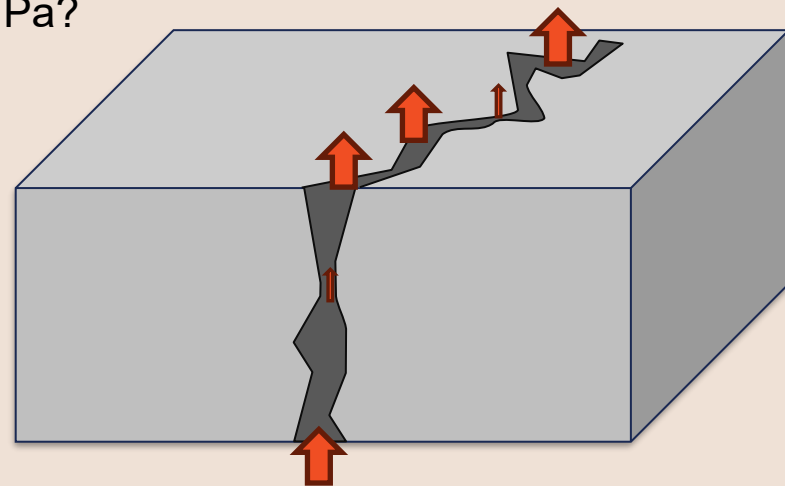
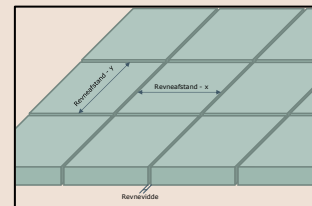
- Er det OK at anvende den gennemsnitlige revnevidde?
- Fra strømning i rør ved vi, at det er det smalleste sted der er betydende for strømningen gennem røret
- Men et rør er "2D", mens revnen er "3D", hvorfor luften vil have mulighed for at strømme "uden om" de snævre passager
- Det vurderes derfor som en rimelig antagelse, at anvende den gennemsnitlige revnevidde i risikoberegningen



JAGG2025:

Hvordan sikrer vi at JAGG-beregningerne ikke bliver for konservative?

- Kan vi gøre beregningen af luftstrømmen mindre konservativ?
- Hvad med differenstryk over terrændækket, $\Delta P = 2 \text{ Pa}$?
- Følsomhedsanalyse på revnevidde (w) og differenstryk (ΔP) for at kompensere for:
 - Revnens geometri (at fladerne ikke er parallelle)
 - Materialets ruhed
- Der er ikke evidens for at værdierne bliver mere rigtige



Kan jeg genkende JAGG's brugergrænseflade?

- [illegible]

JAGG2025:

Kan jeg genkende JAGG's brugergrænseflade?

- Nye betonparametre, armering både i X- og Y-retning
- Gyldighedsområde (med stop af beregninger)
 - Revnevidde $<0,4$ mm
 - Armeringsprocent $<2\%$ (alarm/varsel ved mere $>0,8\%$)
 - Terrændækkets tykkelse >80 mm, og <500 mm, (alarm/varsel ved >300 mm)
- RF – reduktionsfaktor. Fra målepunkt til indeluft
- DF – dæmpningsfaktor. Over betondækket
- Tilsvarende rettelser i krybekældermodul

Armering		i x-retning (bredde)		i y-retning (længde)		
Armeringsdiameter	d_s	8	12	8	12	mm
Årstand mellem armering	Δb	100	120	100	120	mm
Dæklagstykkelse		h_d	25	37	20	mm
Ligger x-armeringen øverst?		Ja		ja/nej		
Antal armeringsnet	n_{arm}	1	2	stk.	Gyldighedsområde	
Armeringsprocent	A_{rpr}	0,75		0,75	< 2	%
Elasticitetskoef. Stål	E_s	210.000		MPa		
Dynamisk viskositet af luft	μ	1.80E-05		kg/(m * s)		

Bygningsdata		Indtast bygnings data		Beregne bygningsdata		Anvend beregnede bygningsdata, eller indtast målte data		Bemærkning		Bemærkning	
Rumtype/anvendelse											
Løftshøjde	L_h	2,3	m	Revnevidde	w	0,109		0,109		$< 0,40$	mm
Luftskifte	L_s	1,3E-04	s ⁻¹	Gennemsnitlig Revneafstand	L_r	401		401			mm
Gulvbredde (x-retning)	l_b	5	m	Total revnelængde	l_{tot}	57		57			m
Gulvlængde (y-retning)	l_l	5	m	Samlet luftstrøm gennem beton	Q_b	5,47E-06					m³/s
Trykforskel over betondæk	ΔP	2	Pa								

Forurening		Data for forureningen er overført fra fugacitetsmodul				Bemærkning		Bemærkning	
Stofnavn		Trichlorethylen							
Målepunkt									
Dato									
Poreluftskoncentration	C_L	1000						µg/m³	
Test af andre værdier								µg/m³	
Diffusionskoefficient i luft	D_L	7,17E-06	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00			m²/s	

Beregning: Indeluft						Bemærkning		Bemærkning	
Stoffluxgennem beton	J	2,78E-08						mg/(s * m²)	
Poreluftconc. under gulv	C_p	91,53559669						µg/m³	
Diffusiv bidrag til indeluft	C_{di}	0,017106031						µg/m³	
Totalt bidrag til indeluft	C_i	0,082473208						µg/m³	
Aldampringskriterie		1						µg/m³	
Overskridelse af kriteriet		Nej	Intet kriterie	Intet kriterie	Intet kriterie			gange	
Anvendt Brugerdata		Nej	Nej	Nej	Nej				

Reduktionsfaktor						Bemærkning		Bemærkning	
(fra poreluftpunkt til indeluft)	RF	12125	#VALUE!	#VALUE!	#VALUE!			Gange	
Dæmpningsfaktor (over betondækket)	DF	1110	#VALUE!	#VALUE!	#VALUE!			Gange	

JAGG2025:

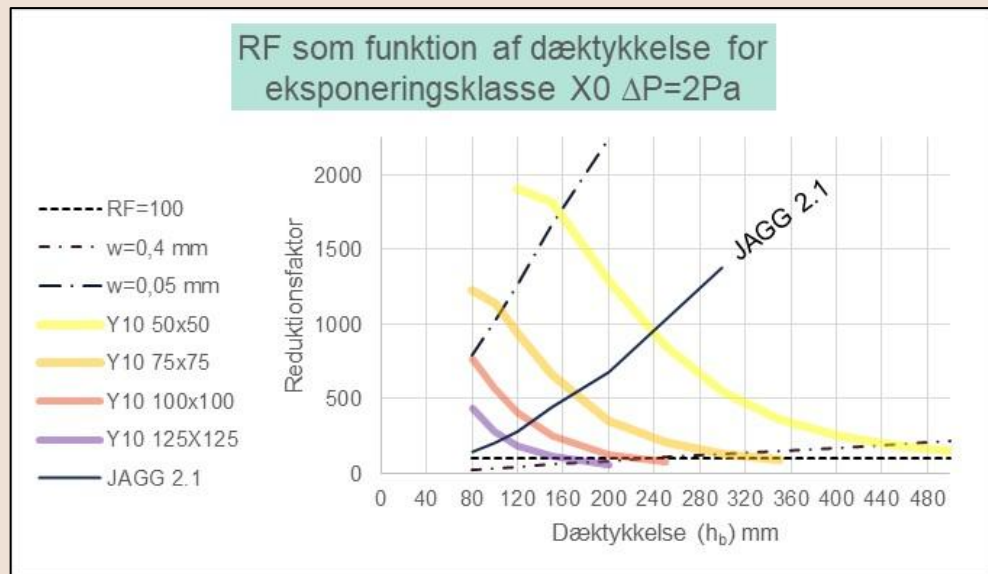
Kan man sammenligneresultater fra JAGG2025 og JAGG 2.1

- Ja og Nej

Ja: JAGG2025 beregner som JAGG 2.1 en indeluftkoncentration ud fra nogle givne forhold

Nej: Der er væsentligt flere muligheder for at vælge inputparametre i JAGG2025, og dermed bliver JAGG2025 Indeluftmodul langt mere komplekst.

Lad den projekterende bygge-ingeniør være projekterende og lad miljøingeniøren stille kravene til tæthed.



JAGG2025:

Hvad nu?

- Afventer Følgegruppens GO på udgivelse
- Mulig efterfølgende opdatering af 'olie modulet'
- Mulig efterfølgende opdatering af 'PFAS'-stofdatabasen

Og så er det tid til spørgsmål!

