

Fuktmätning i betong med lågt vattencementtal, steg 3 (samt slutsatser från Steg 1-2)

– SBUF projekt 12941 och 13085

**Peter Johansson
Stefan Backe**

**Avdelning Byggnadsmaterial
Lunds Tekniska Högskola**



Resultat från steg 1-2

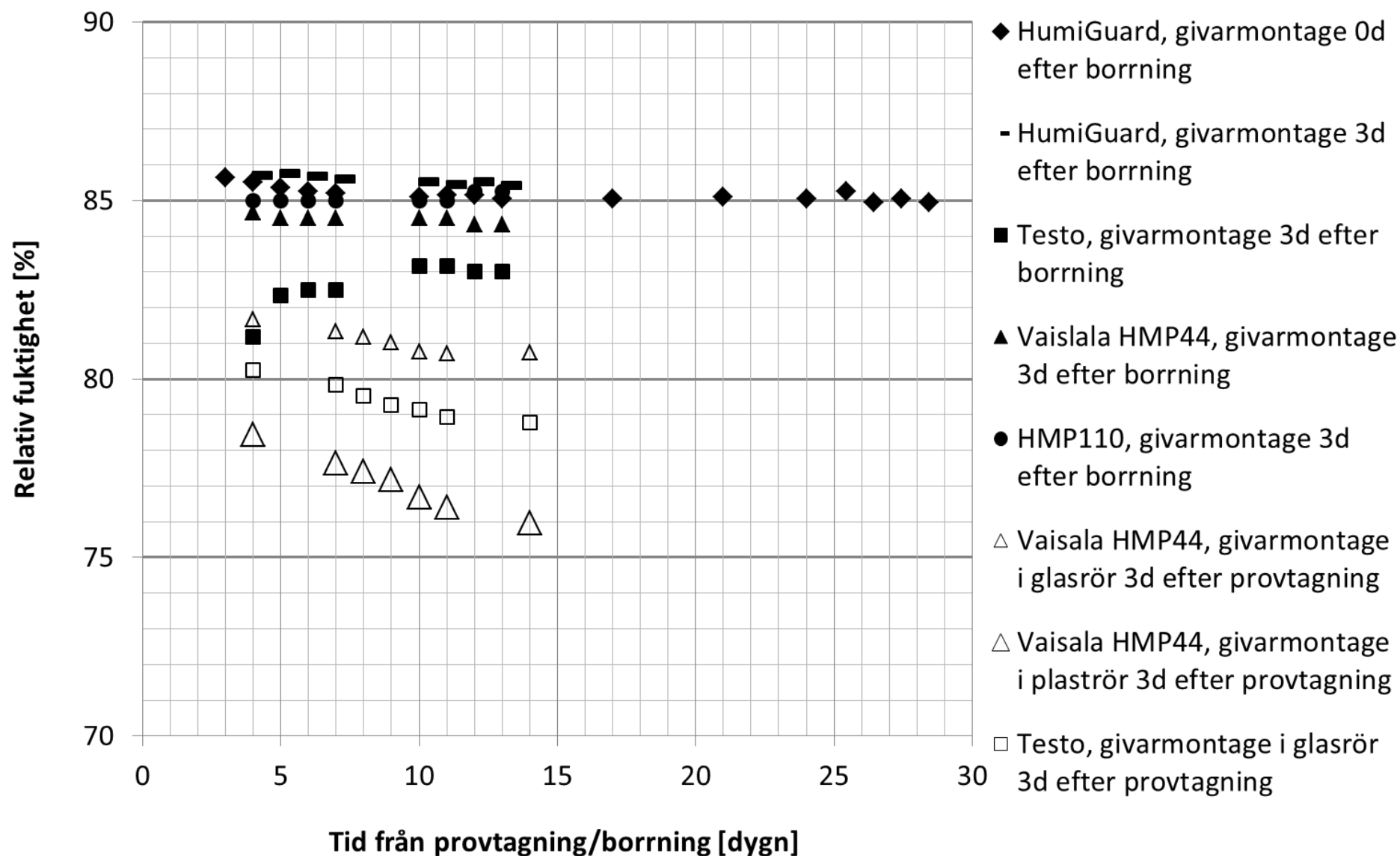
**Jämförelse av RF från uttaget prov och
borrhålsmätning i platta som lagrats
förseglad 8 månader**

**samt mätning och datorsimulering av
fuktförlust vid provtagning och dess
inverkan på RF-nivån**





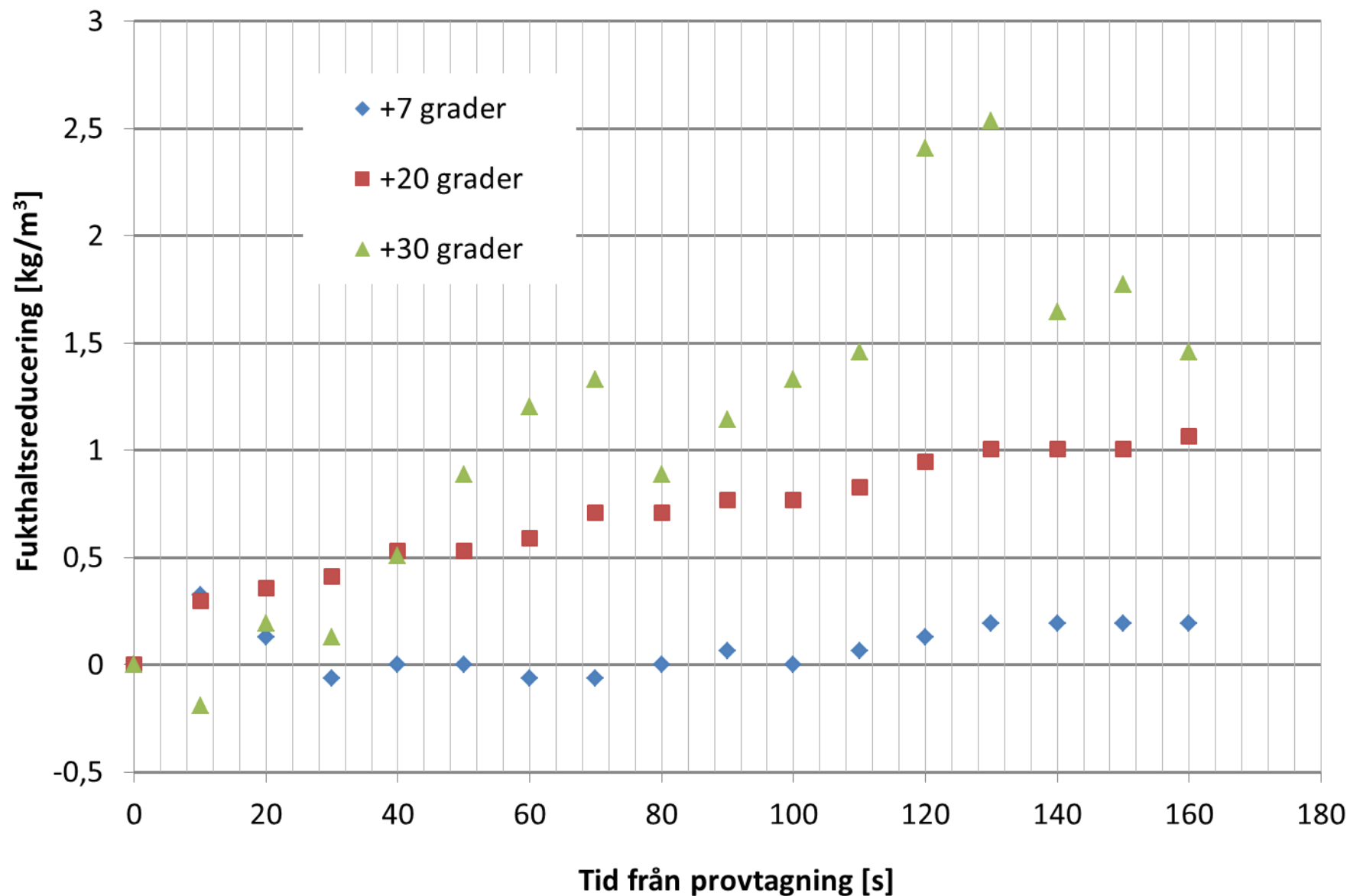
Jämförelse av mätning borrhål/uttaget prov



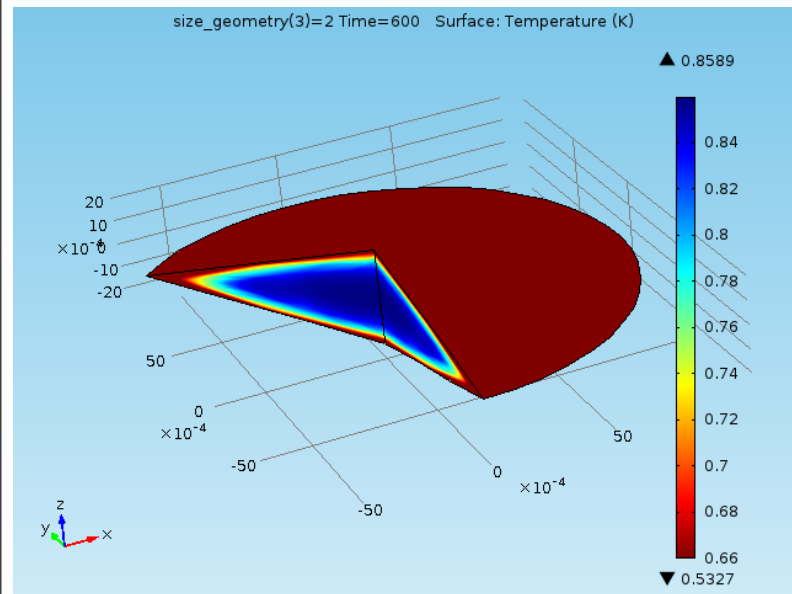
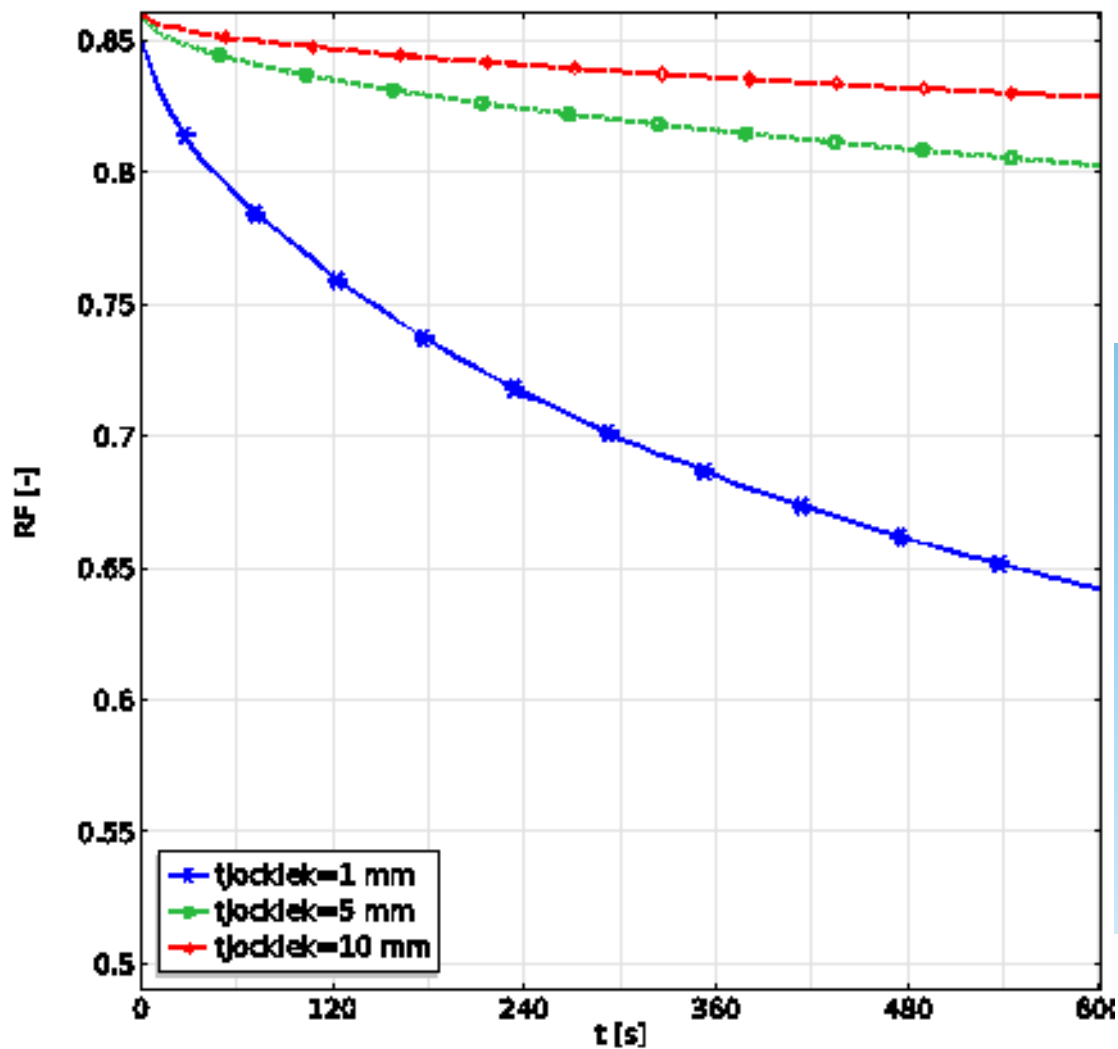
Inverkan av fuktavgång från uttaget prov



Reducering av fukthalt hos uttaget prov som funktion av provtagningstid



Uttorkning av prov i luft



Slutsatser, Steg 1-2

- Konditioneringstid
 - Uttaget prov
 - Borrhålsmätning
- Inverkan av kondens i provrör
- Provmängdens betydels vid uttaget prov
- Hur påverkas provets fuktnivå när givare monteras i rör
- Fuktavgång vid hantering av uttaget prov
- Känslighet för temperaturvariationer i omgivning vid borrhålsmätning
- Jämförelse mellan borrhålsmätning och uttaget prov

Fuktmätning i betong med lågt vattencementtal, steg 3



Recept för provade betongsammansättningar

	Beteckning				
	38B	50B	55B	50BS	55BS
Ekvivalent vattencementtal	0,38	0,50	0,55	0,50	0,55
Delmaterial (kg/m³)					
Cement (Cementa Bascement)	450	380	350	325	300
Slagg (densitet 2900 kg/m ³ , k=0,8)*	0	0	0	65	60
Vatten	171	190	192,5	188,5	191,4
Ballast (0-8mm)	880	937	966	933	960
Ballast (8-12mm)	440	415	411	414	409
Ballast (12-16mm)	440	415	411	414	409
Flyttillsats (Sika Evo 26)	2,2	0,8	0,8	0,8	0,8
Sättnått/lagringsförhållande					
Sättnått (mm)	78	73	95	70	88
Förseglad lagring	X				
Värmeisolerad mantelyta	X				
Värmeisolerad botten	X	X	X	X	X

**Uppgifter och material från Thomas Concrete Group AB, Göteborg*

2 månaders lagring av prov före RF-mätning



Provplan för 38B, vct= 0,38 utan slagg

Beteckning/provkropp	Givare för mätning på uttagna prov			Givare för mätning i borrhål					
	Vaisala HMP110 (HMP110)	Loggad Vaisala HMP44 (HMP44 Pico)	Vaisala HMP44 (HMP44)	Vaisala HMP110 (HMP110)	Loggad Vaisala HMP44 (HMP44 Pico)	HumiGuard	Testo 605-H1 med tejp (605 med tejp)	Testo 605-H1 utan tejp (605 utan tejp)	Testo 05726172 med teflonfilter (635)
38B-1					V26		10-1	11-2	T9
38B-2							10-2	11-3	T10
38B-3					V35		10-3	11-4	T8

Provplan för 50B och 55B, vct= 0,5 och 0,55, båda utan slagg

Beteckning/provkropp	Givare för mätning på uttagna prov			Givare för mätning i borrhål					
	Vaisala HMP110 (HMP110)	Loggad Vaisala HMP44 (HMP44 Pico)	Vaisala HMP44 (HMP44)	Vaisala HMP110 (HMP110)	Loggad Vaisala HMP44 (HMP44 Pico)	HumiGuard	Testo 605-H1 med tejp (605 med tejp)	Testo 605-H1 utan tejp (605 utan tejp)	Testo 05726172 med teflonfilter (635)
50B-1		V-26,- V35		VA1	V40	X	10-4		
50B-2	VA1	V40		VA2		X	10-5		T6
50B-3	VA2	V57		VA3	V57	X			
55B-1	VA3	V58		VA4	V58	X	10-6		
55B-2	VA4	V59		VA5		X			T7
55B-3	VA5	V61		VA6		X	10-8		

Provplan för 50BS och 55BS, vct= 0,5 och 0,55, båda med slagg

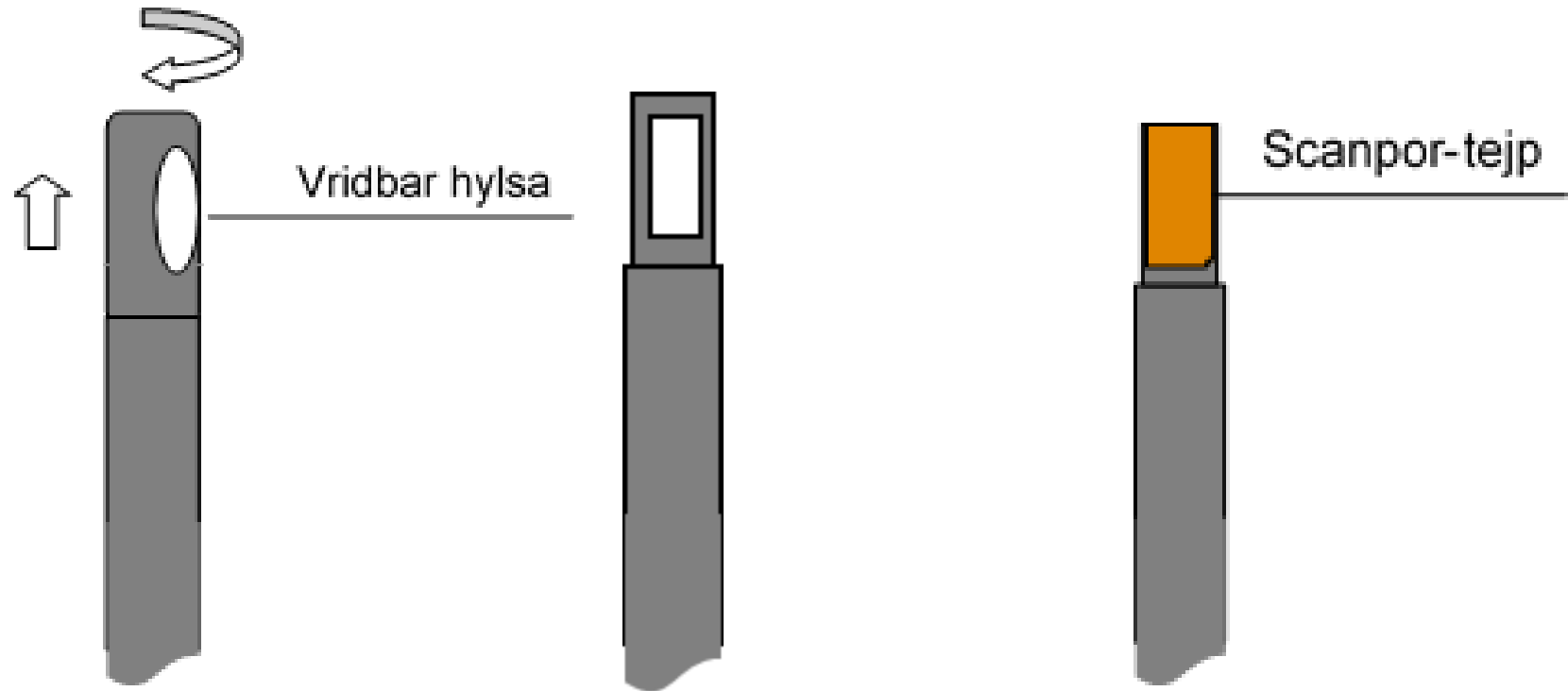
Beteckning/provkropp	Givare för mätning på uttagna prov			Givare för mätning i borrhål					
	Vaisala HMP110 (HMP110)	Loggad Vaisala HMP44 (HMP44 Pico)	Vaisala HMP44 (HMP44)	Vaisala HMP110 (HMP110)	Loggad Vaisala HMP44 (HMP44 Pico)	HumiGuard	Testo 605-H1 med tejp (605 med tejp)	Testo 605-H1 utan tejp (605 utan tejp)	Testo 05726172 med teflonfilter (635)
50BS-1			V46, V53	VA7	V59	X	10-9		
50BS-2	VA6	V64		VA8		X	10-10		
50BS-3	VA7, VA8			VA9	V61	X	10-11		
55BS-1	VA9		V51	VA10	V64	X	10-12		
55BS-2	VA12		V49	VA11		X	10-15		
55BS-3	VA10, VA11			VA12		X	10-16		

RF-givare och tillhörande avläsningsinstrument



Testo 605-H1 försedd med tejp som skydd över RF-sensorn
(fabrikat Scanpor 10x40 mm)

Rutin för montering av skyddstejp på Testo 605



Demonteringsrutin för vridbar plasthylsa till Testo 605. Figuren till höger visar sensor med demonterad plasthylsa och skyddstejp applicerad.

RF-givare och tillhörande avläsningsinstrument



Testo 635 avläsningsinstrument samt tillhörande RF-givare, Testo 05726172, försedd med teflonfilter.

RF-givare och tillhörande avläsningsinstrument



Vaisala HMI41 avläsningsinstrument samt tillhörande RF-givare HMP44 försedd med gallerskydd och pappersfilter.

RF-givare och tillhörande avläsningsinstrument



Vaisala HM40 avläsningsinstrument samt tillhörande RF-givare HMP110 försedd med gallerskydd och pappersfilter.

RF-givare och tillhörande avläsningsinstrument



HumiGuard avläsningsinstrument med synlig display samt två tillhörande RF-givare med semitransparent plasthölje. Den högra sensorn är kopplad till en givarkontakt som används vid försegling av mätrör vid mätning i borrhål. Till vänster två anslutningsklämmor, med svart plasthölje, för anslutning till sensor vid avläsning.

Referensblock för HumiGuard



HumiGuard referensblock och referenscell som används för kontroll av RF-sensorernas drift under mätperioden.

Saltkontroll av RF-givare före och efter mätning

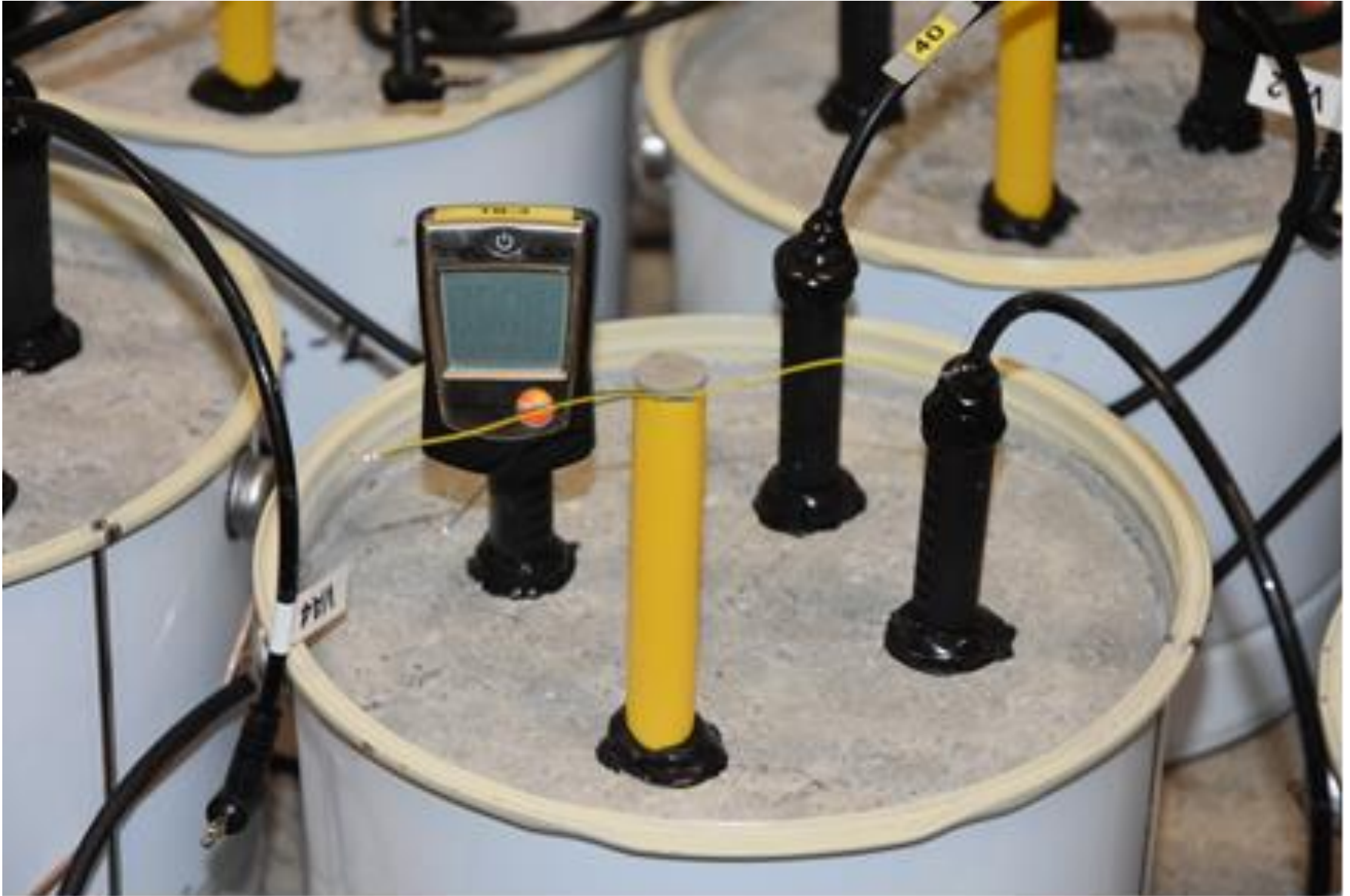


Lagringskammare av extruderad cellplast XPS med temperaturstyrning för lagring av sensorer under saltkontroll.

RF-mätning i borrhål



RF-mätning i borrhål



Provkropp under uttorkning med följande RF-givare monterade från vänster; 605 med tejp, HumiGuard, HMP44-Pico samt HMP110.

RF-mätning på uttagna prov



Proven spräcktes parallellt gjutriktningen med hydraulisk press inför uttagning av provbitar för RF-mätning

RF-mätning på uttagna prov



Provbit efter spräckning för vidare uttagning av provbitar från djupet 50-70 mm från ytan, dvs. samma nivå som borrhålsmätningarna

RF-mätning på uttagna prov



Uttagna provbitar från respektive djup placeras i glaströr som förseglas med gummikork i väntan på RF-mätning.

RF-mätning på uttagna prov



Mätning av relativ fuktighet på uttagna prov placerade i provrör med givare av fabrikat Vaisala HMP44.

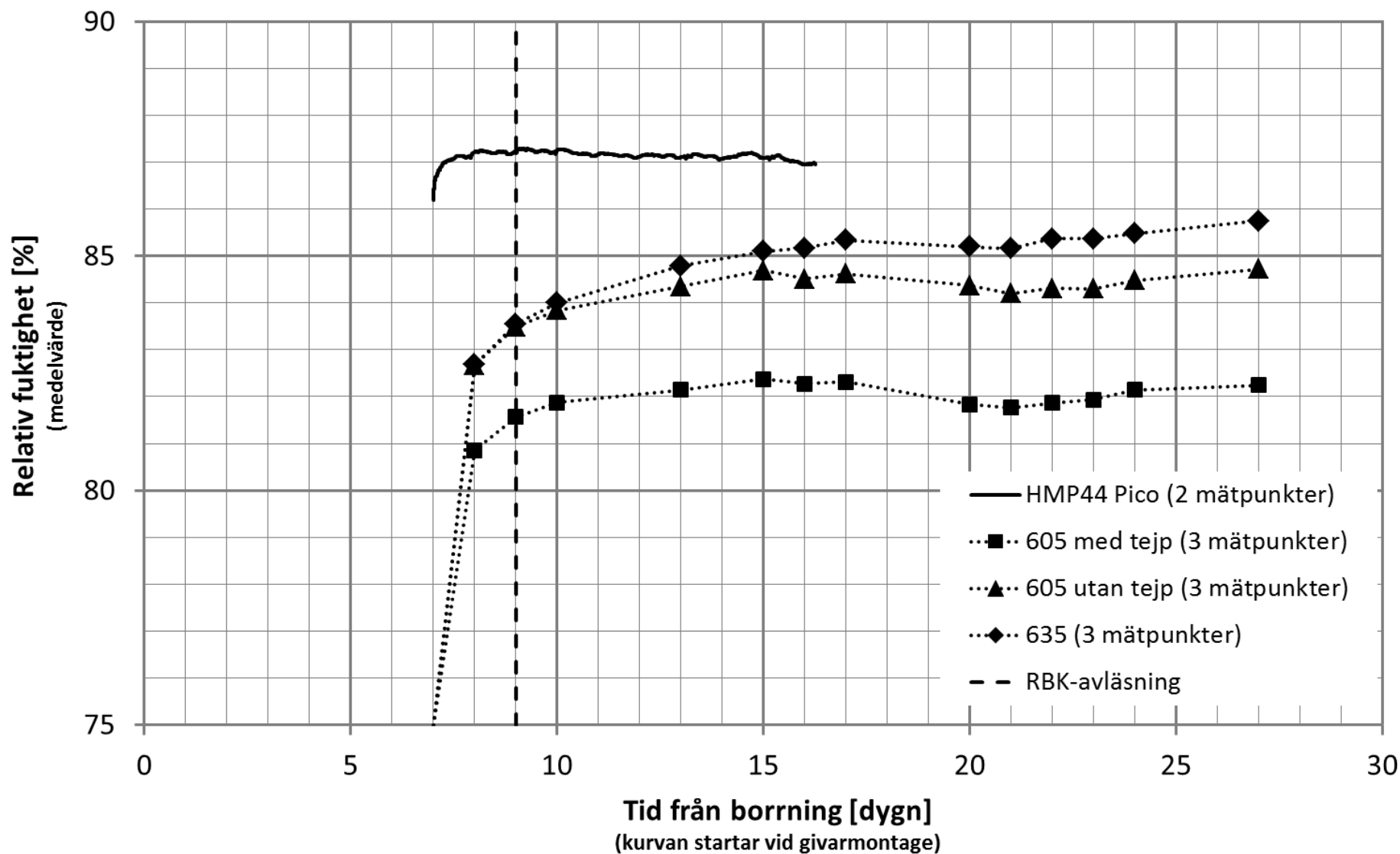
Resultat från RF-mätningar

Betonger

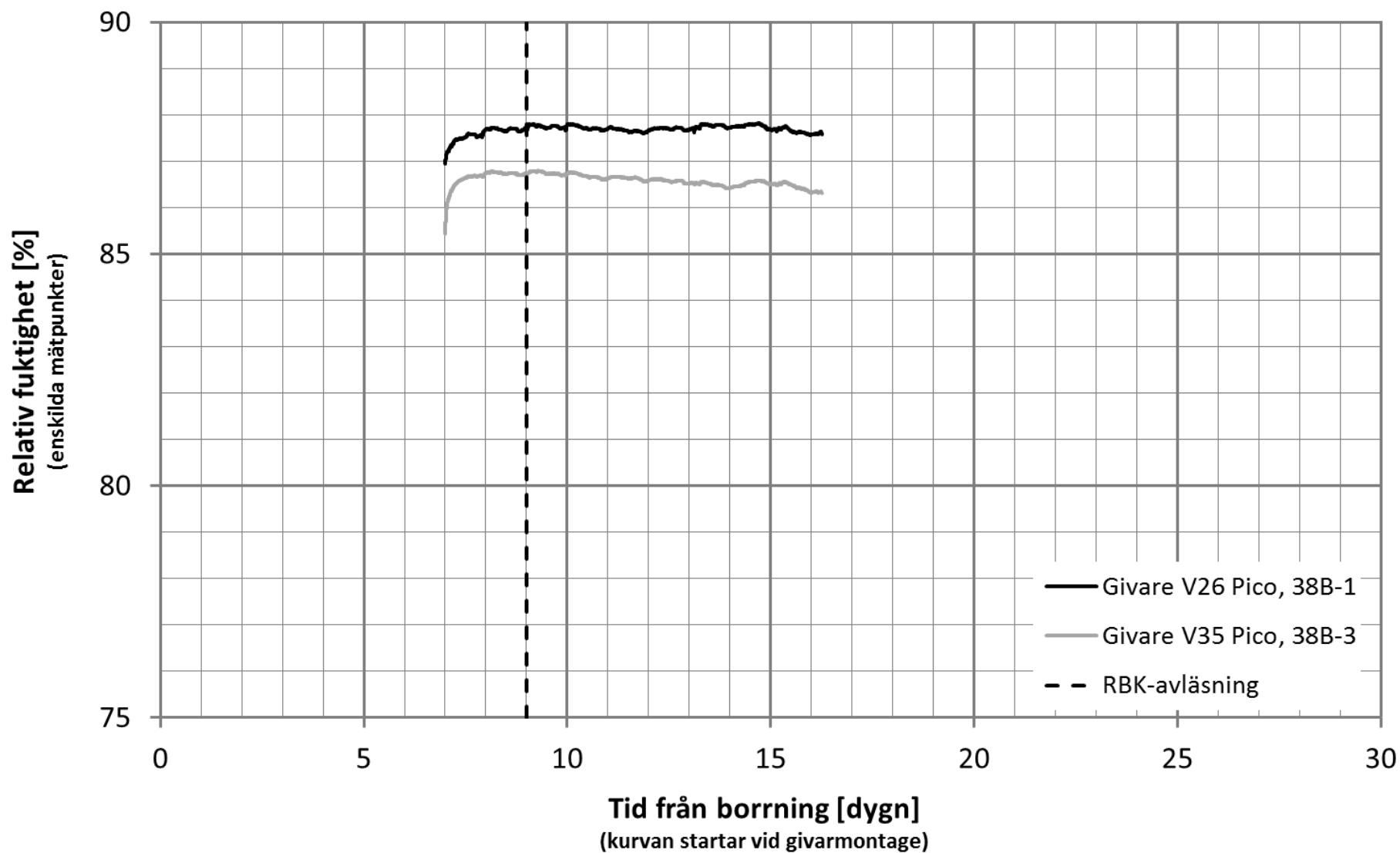
- 38B, vct= 0.38
- 50B, vct= 0.50
- 55B, vct= 0.55
- 50BS, vct= 0.50, med slagg
- 55BS, vct= 0.55, med slagg



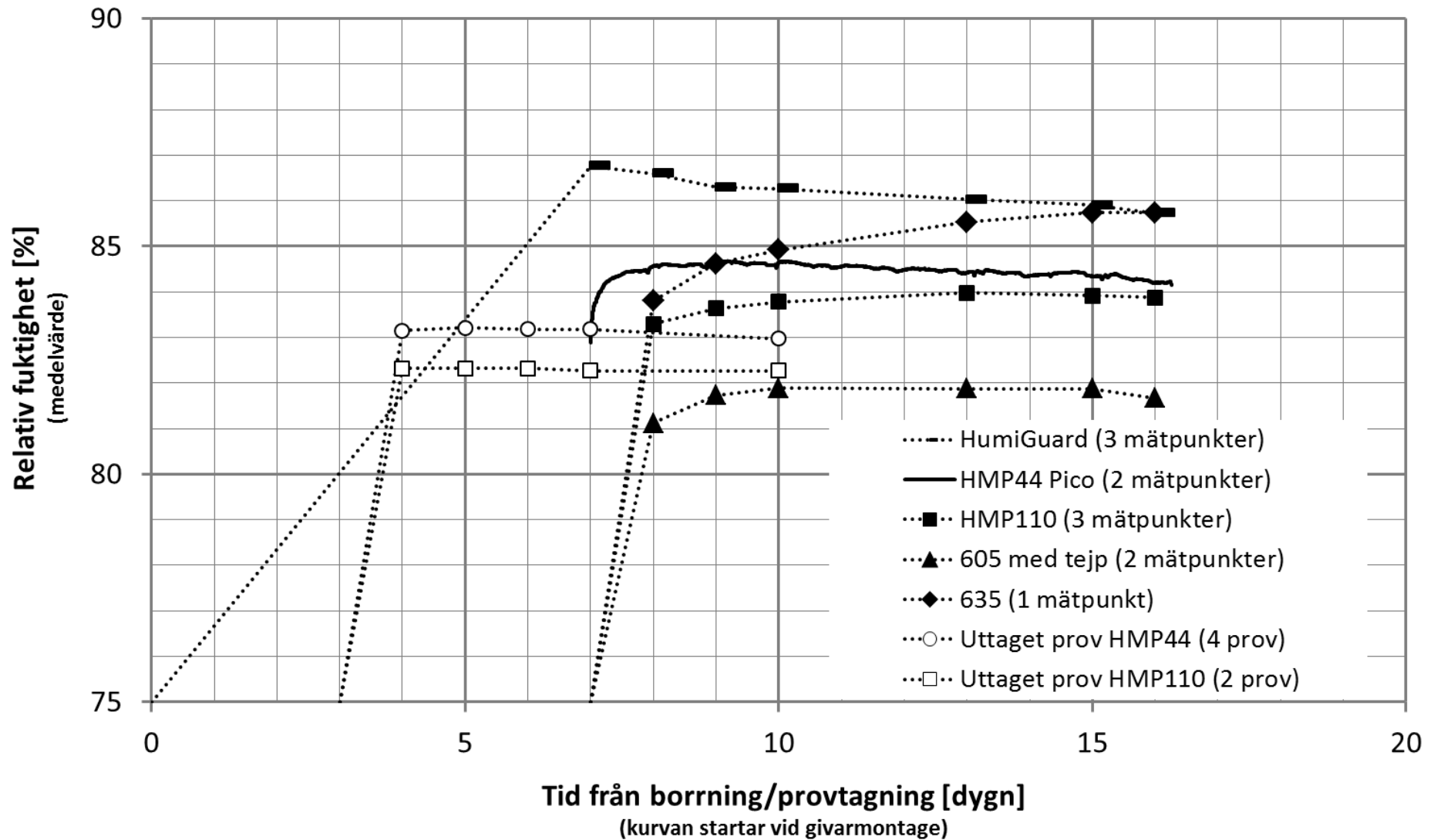
Borrhålsmätning, Bascement, vct= 0,38 (38B)



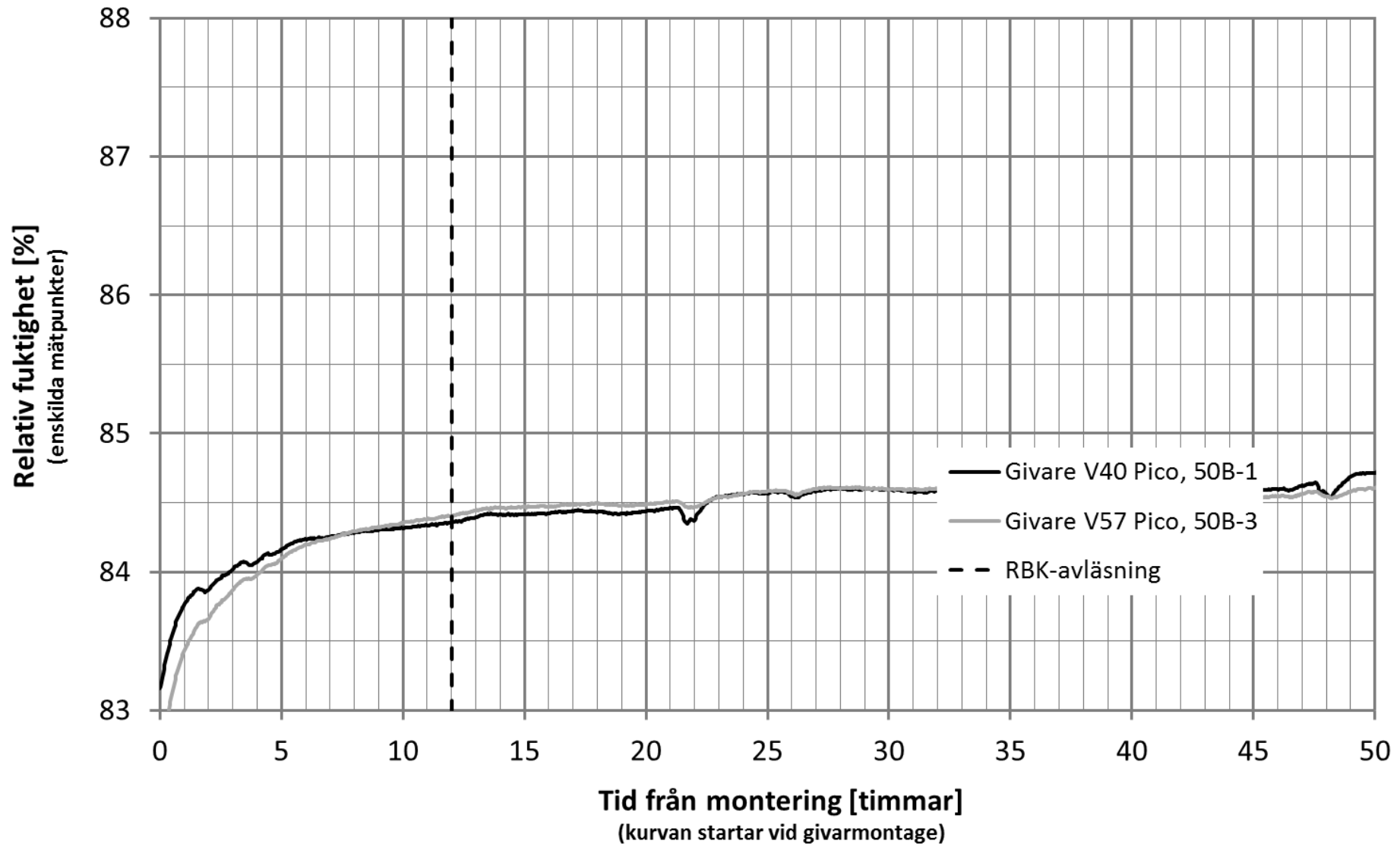
Borrhålsmätning, HMP44 Pico, Bascement, vct= 0,38 (38B)



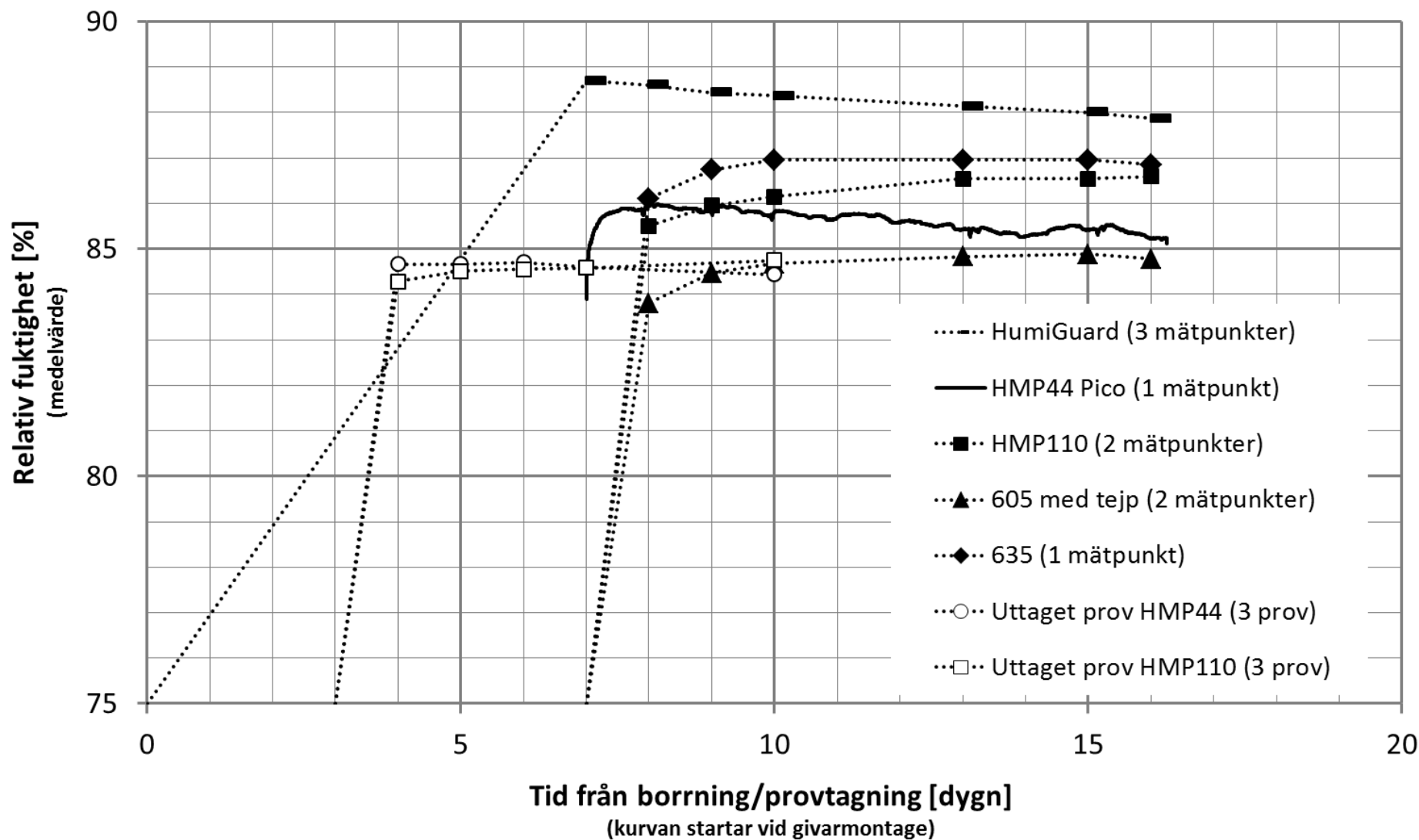
Borrhålsmätning och uttaget prov, Bascement, vct= 0,50 (50B)



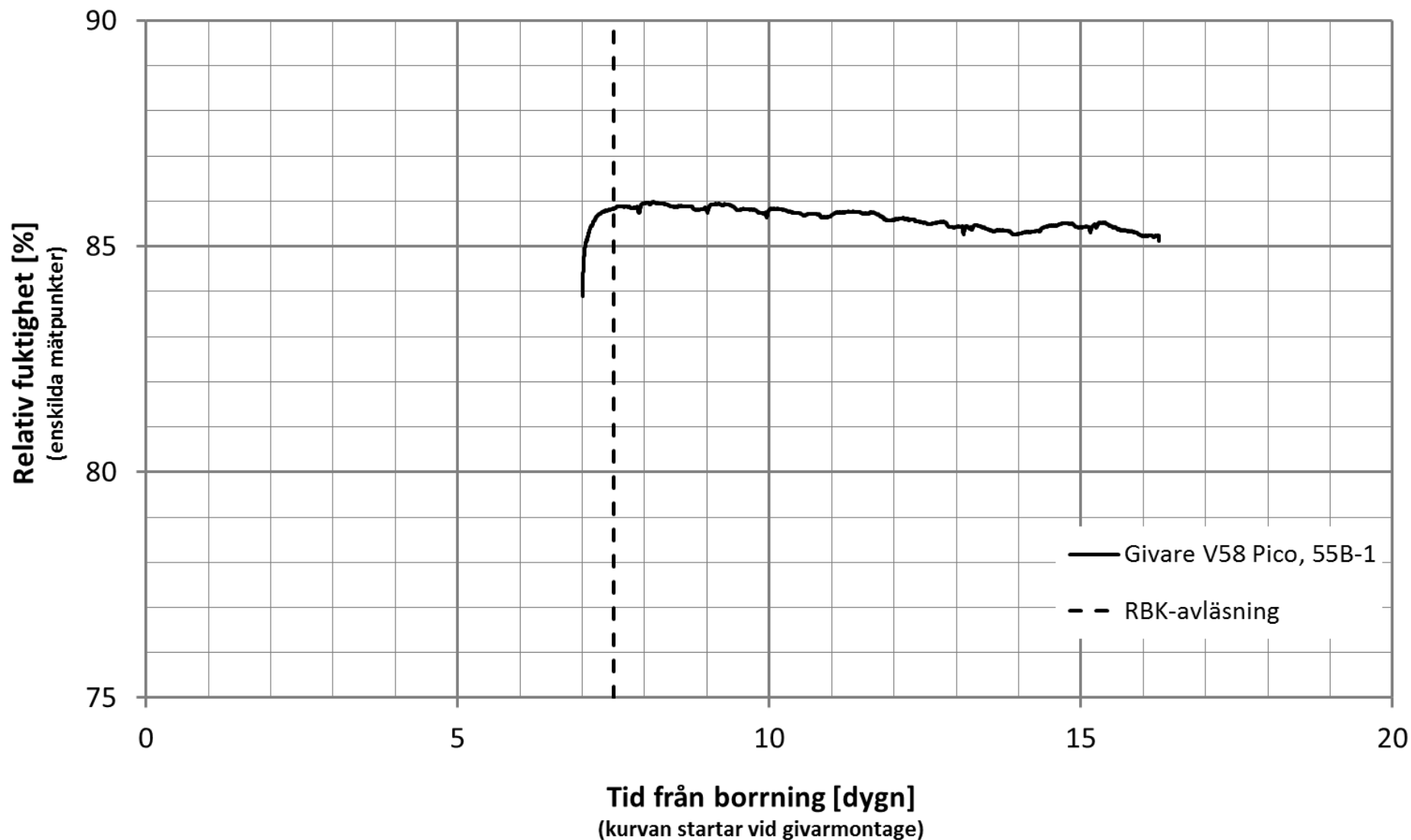
Borrhålsmätning, HMP44 Pico, Bascement, vct= 0,50(50B)



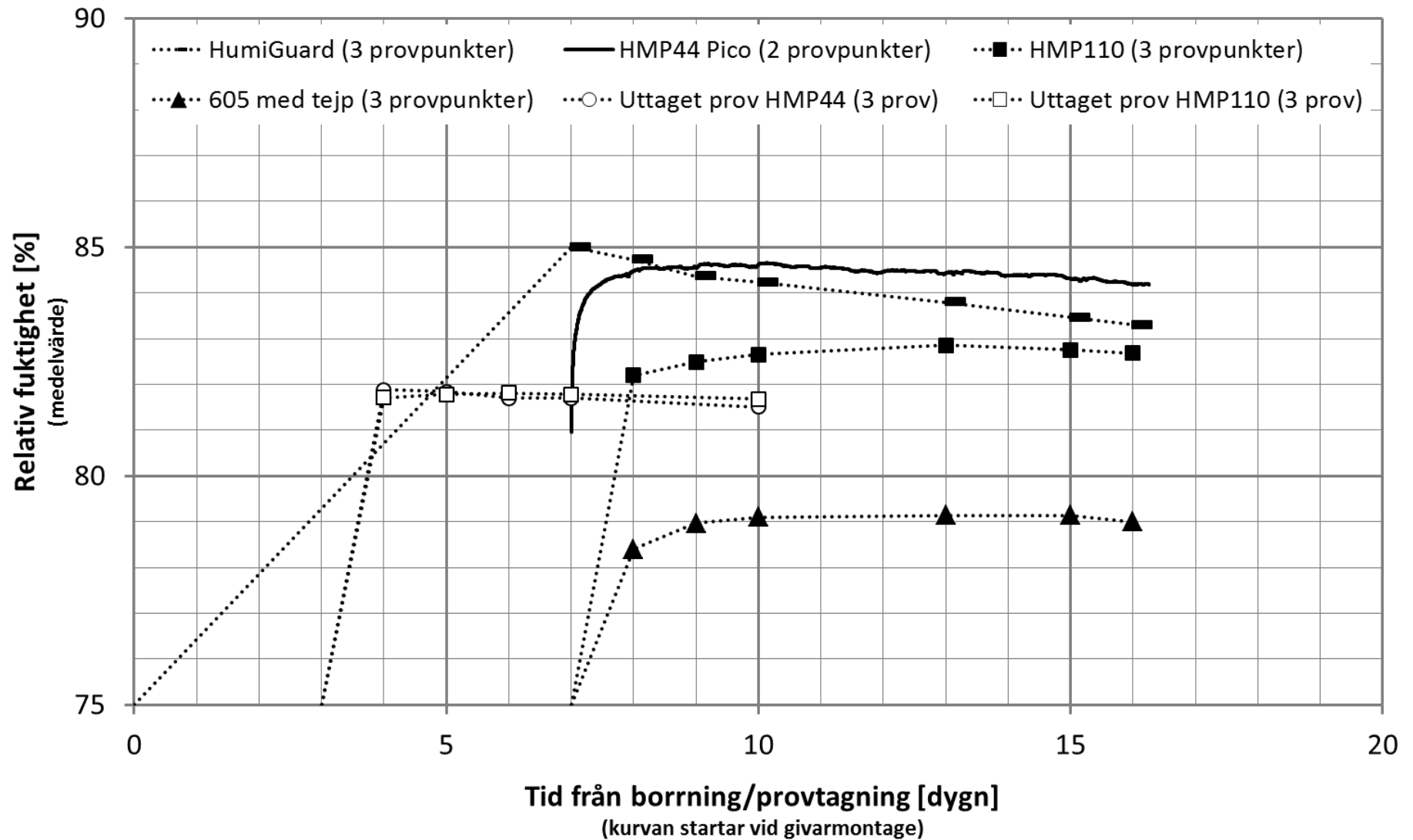
Borrhålsmätning och uttaget prov, Bascement, vct= 0,55 (55B)



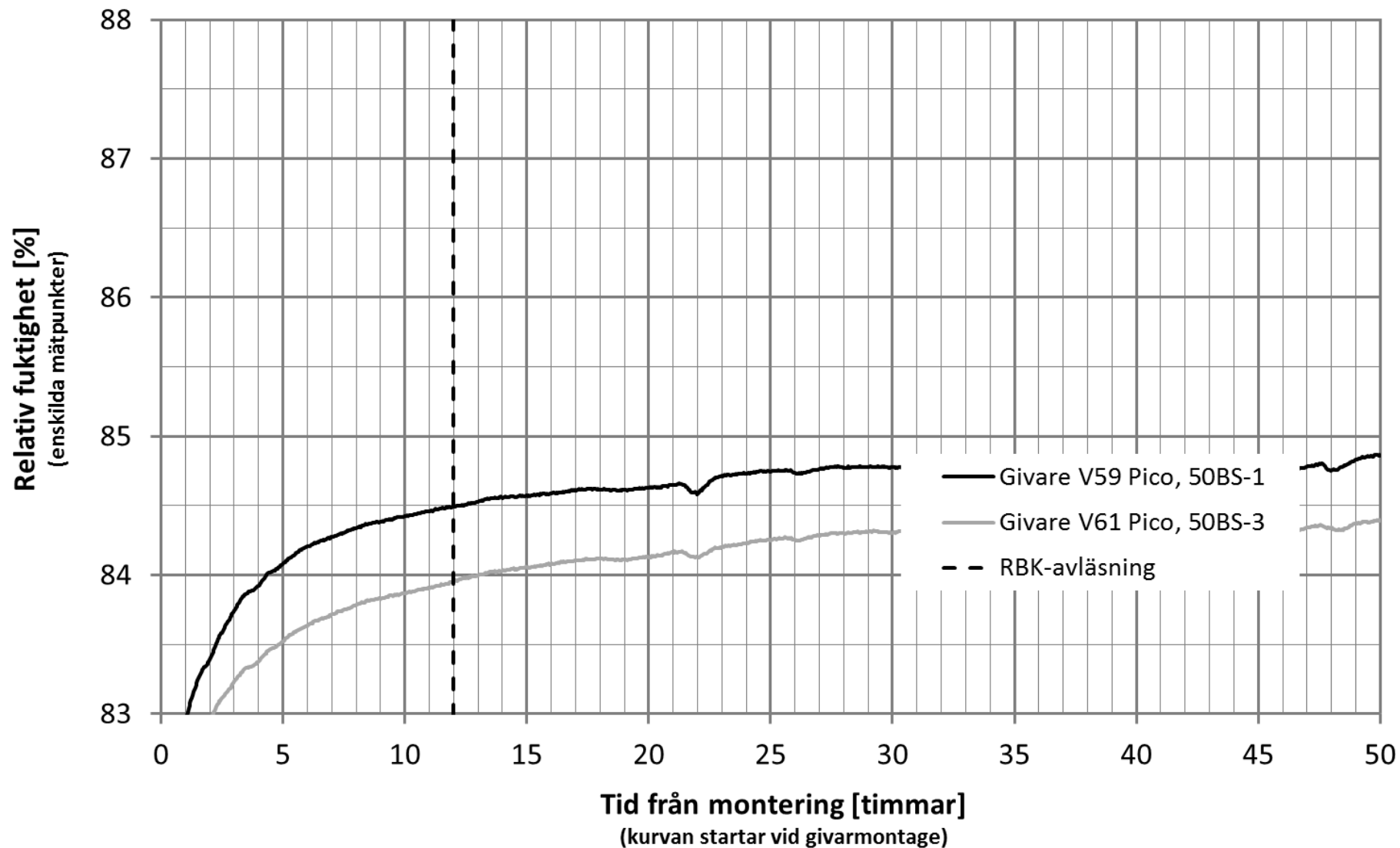
Borrhålsmätning, HMP44 Pico, Bascement, vct= 0,55 (55B)



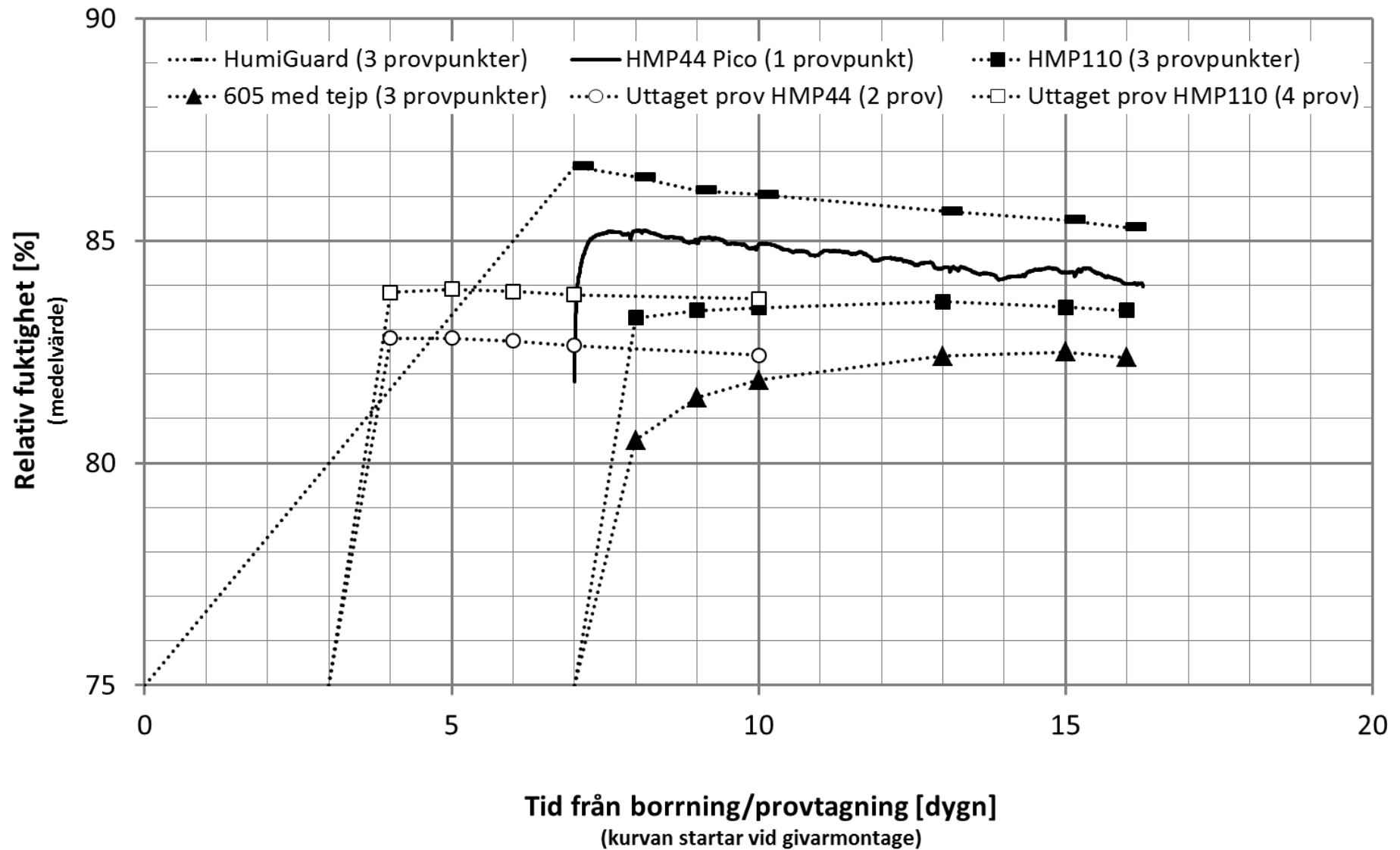
Borrhålsmätning och uttaget prov, Bascement + slagg, vct= 0,50 (50BS)



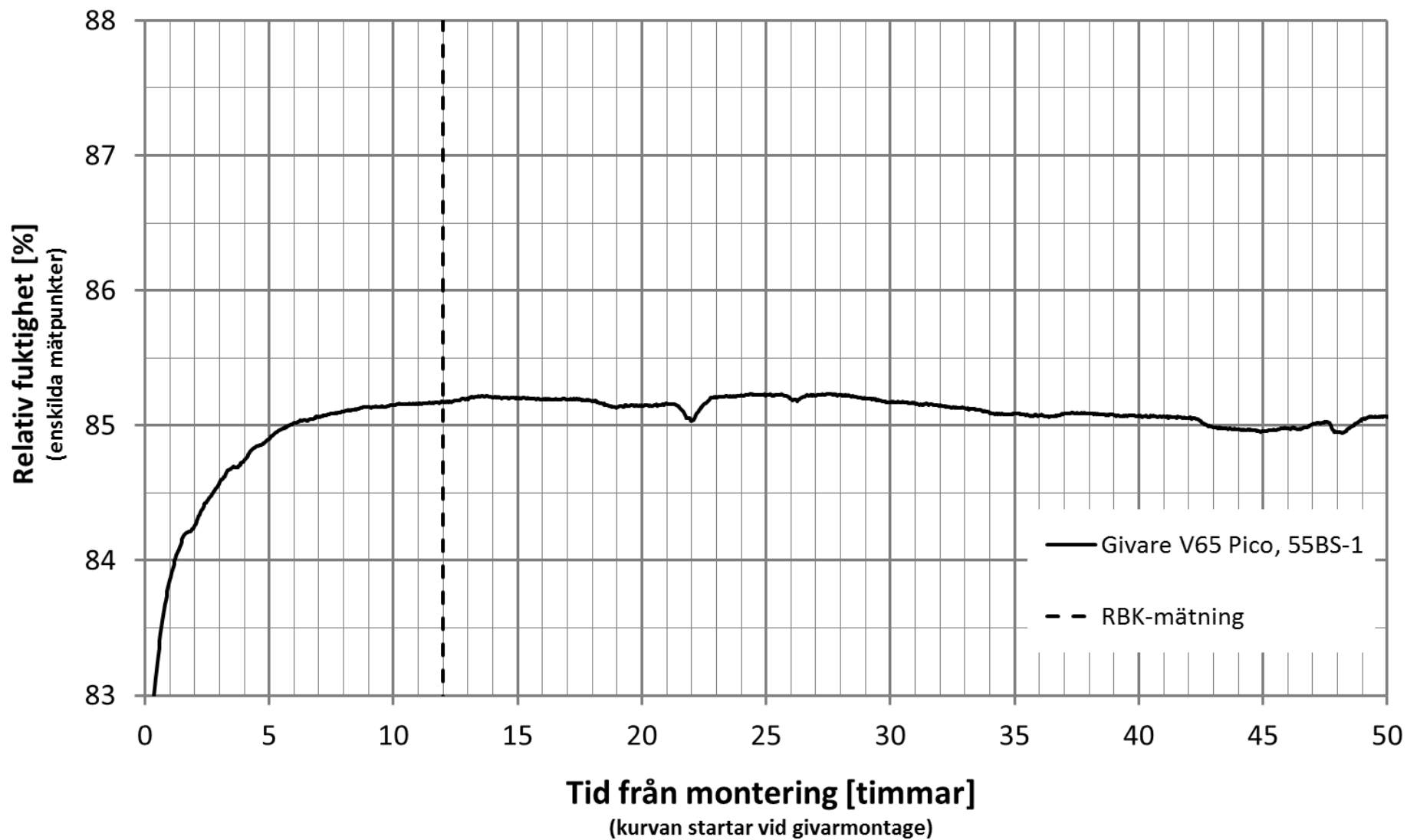
Borrhålsmätning, HMP44 Pico, Bascement + slagg, vct= 0,50 (50BS)



Borrhålsmätning och uttaget prov, Bascement + slagg, vct= 0,55 (55BS)

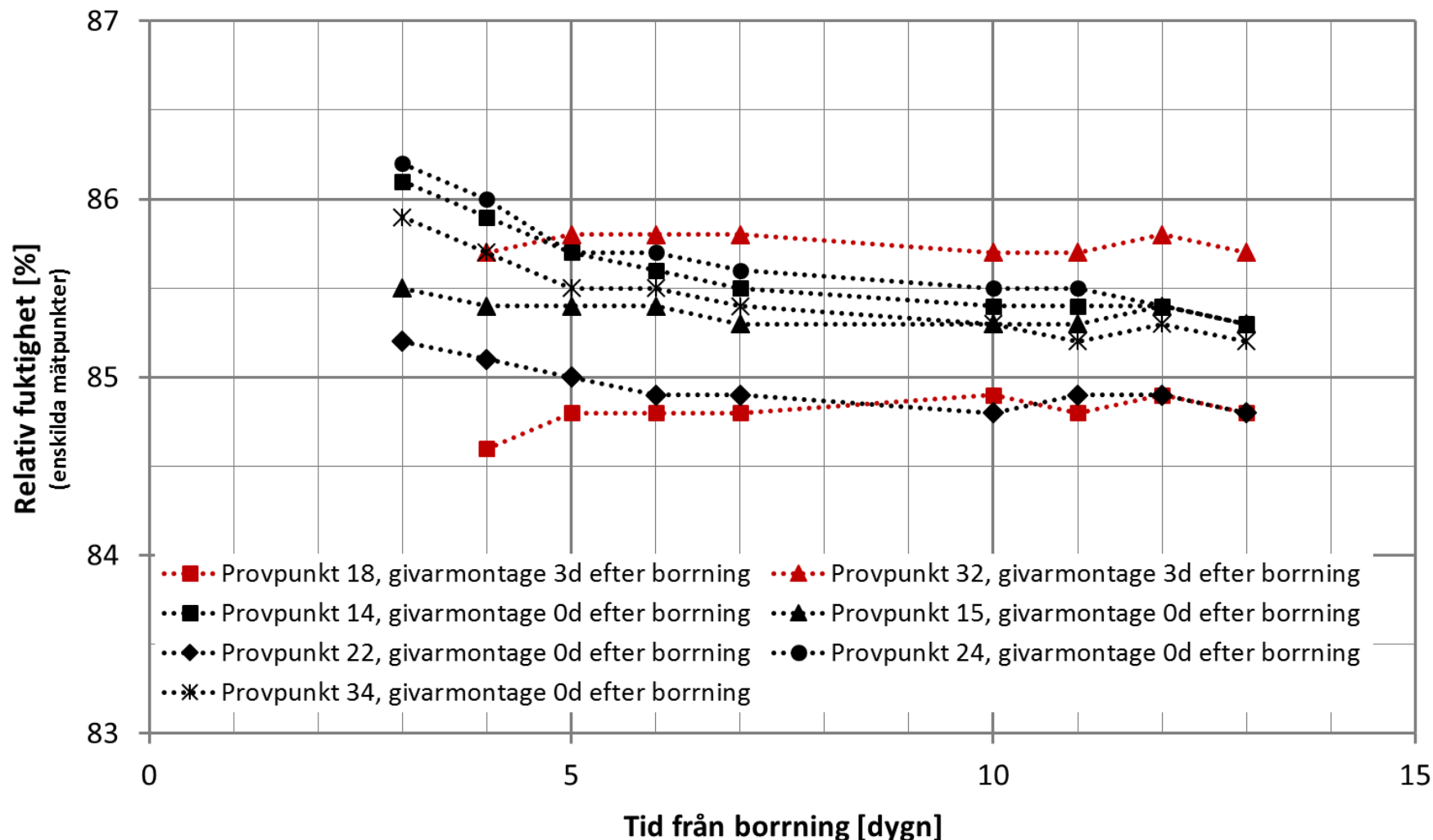


Borrhålsmätning, HMP44 Pico, Bascement + slagg, vct= 0,55 (55BS)



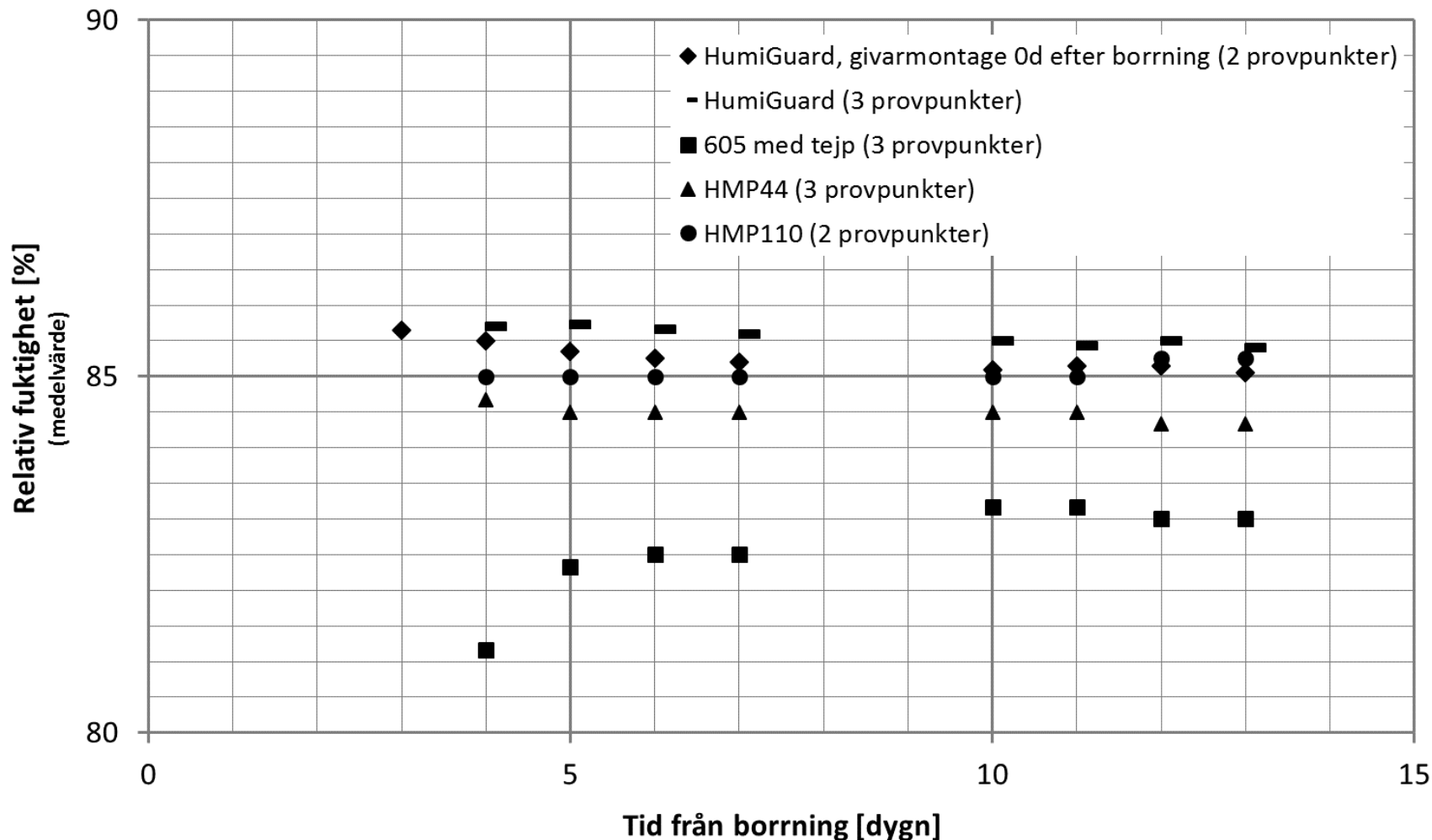
Jämförelse av insvängningsförlopp för HumiGuard monterad vid borring alternativt 3 dygn efter borring

Mätning i borrhål med HumiGuard, vct= 0,38, givare monterade vid borring alternativt 3d efter borring



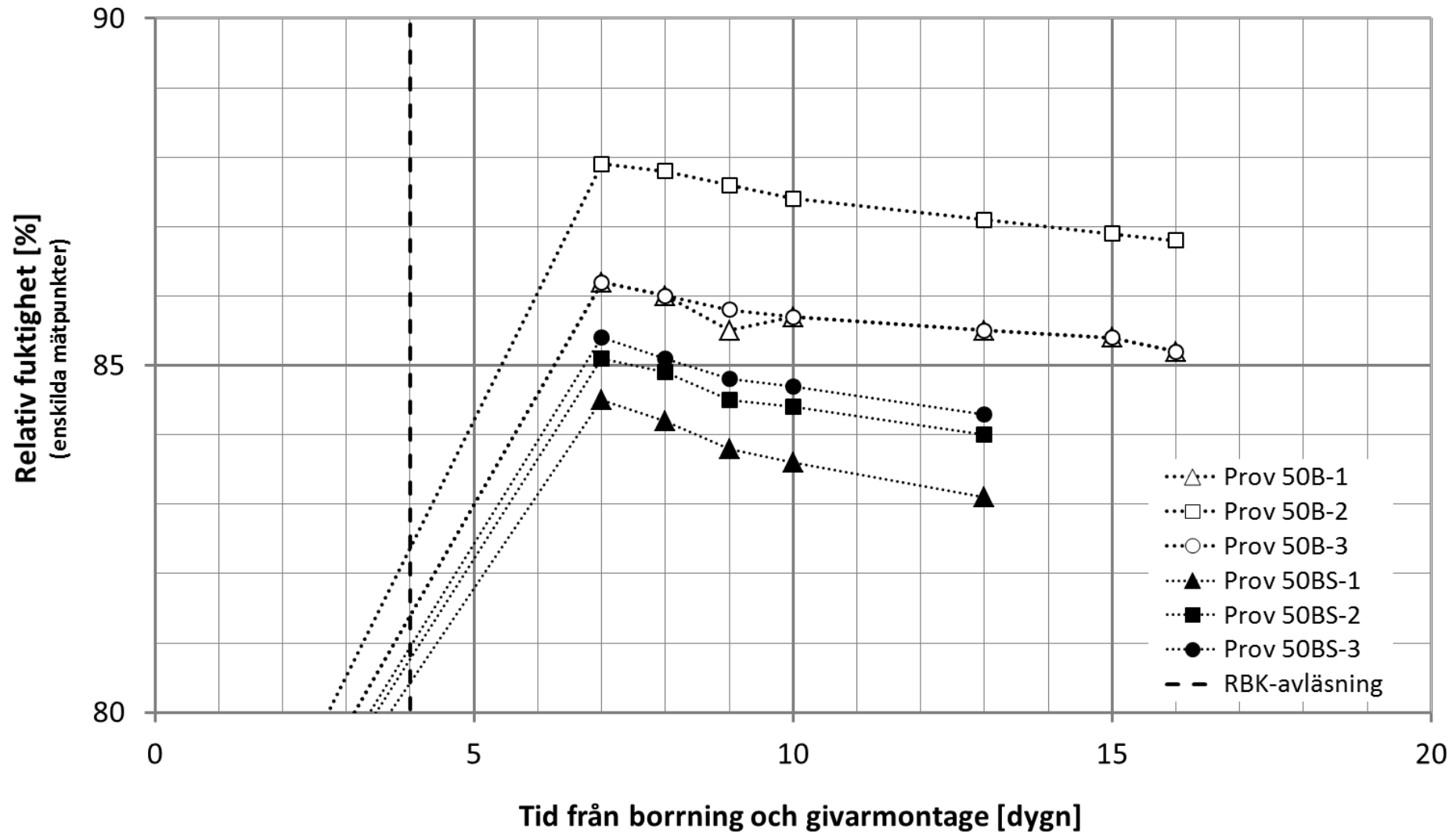
Jämförelse av insvängningsförlopp för fyra olika varianter av givare vid borrhålsmätning

Jämförelse av mätning i borrhål, vct= 0,38, givare monterade 3d efter borrhning
(en serie HumiGuard monterades vid borrhning)



Jämförelse av RF-nivå för vct= 0,5 med och utan slagg

Borrhålsmätning, HumiGuard, Jämförelse Basement med slagg (50BS) och utan (50B),
vct= 0,50



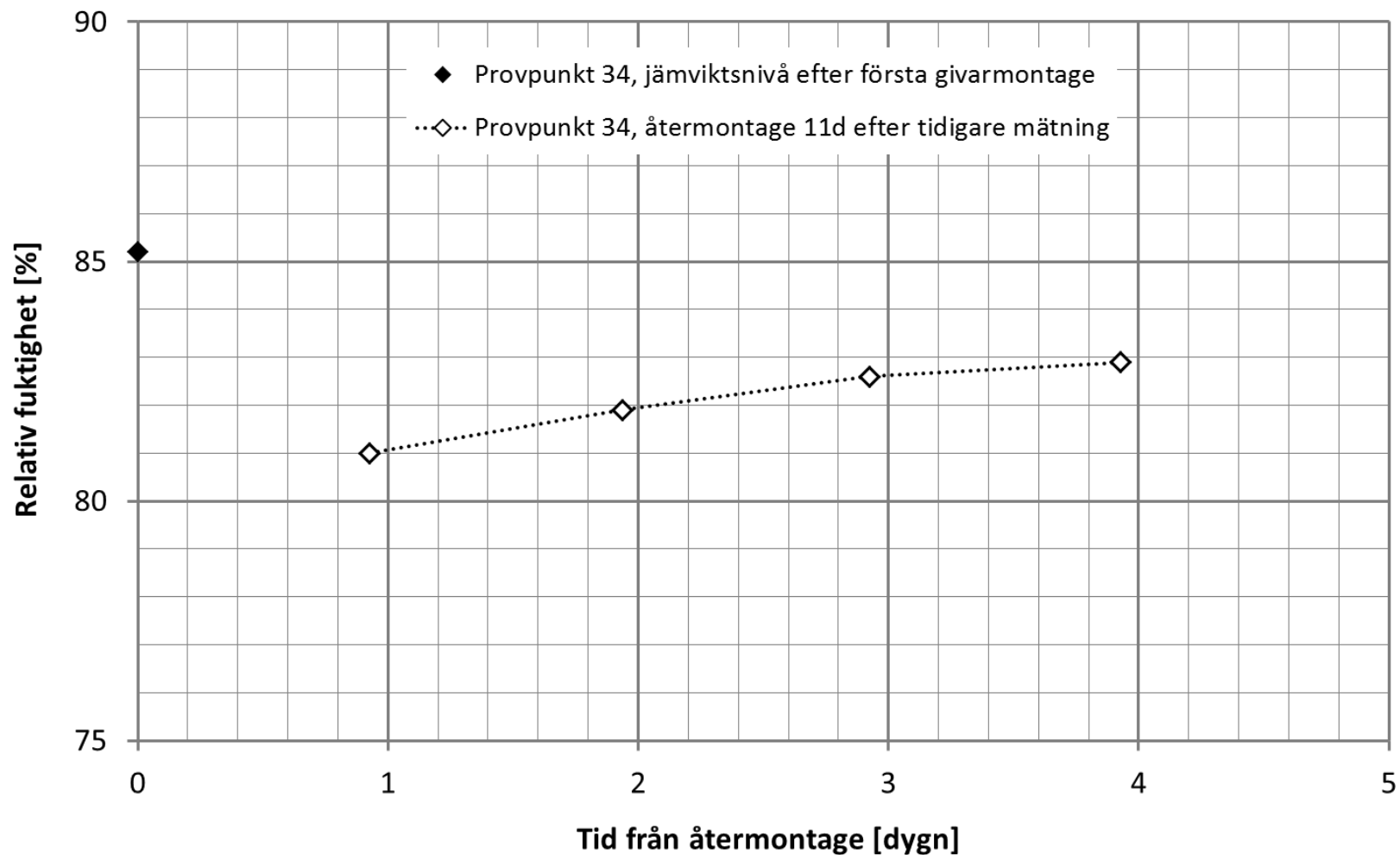
Inverkan på RF-nivå vid återmontage i borrhål

Givare

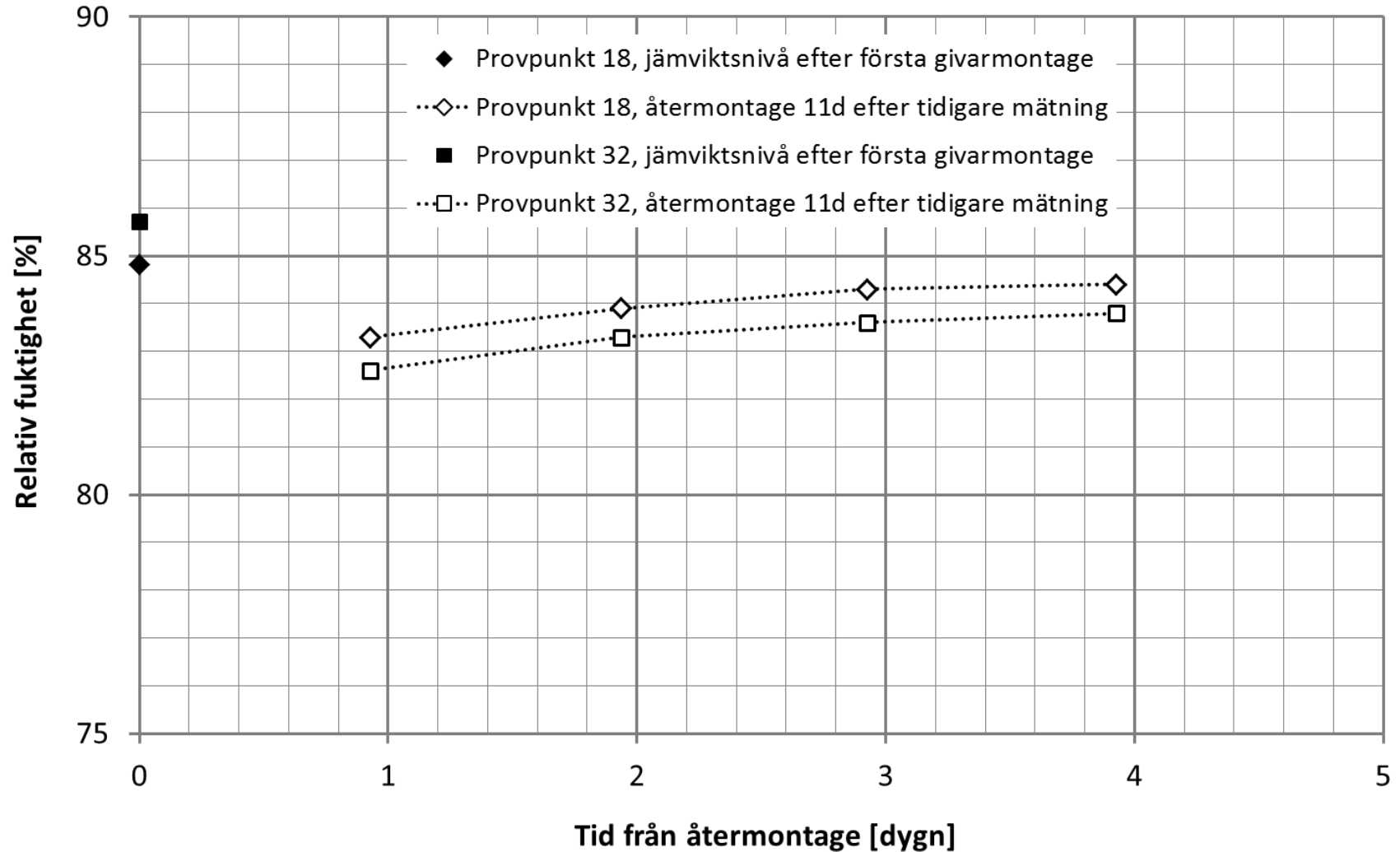
- HumiGuard
- Vaisala HMP44
- Testo 605



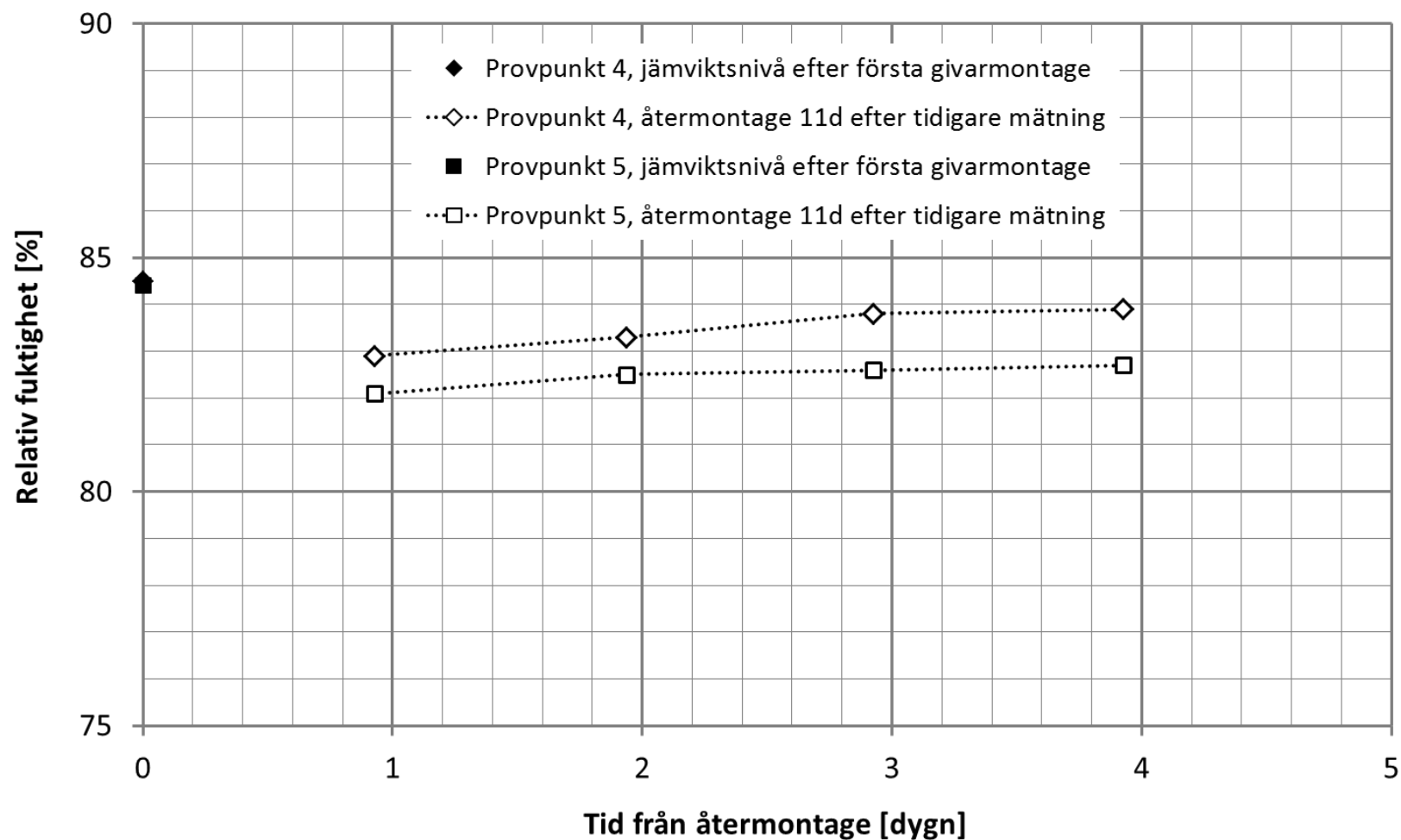
Jämförelse av RF efter första montage (0 dygn) samt återmontage i borrhål, HumiGuard



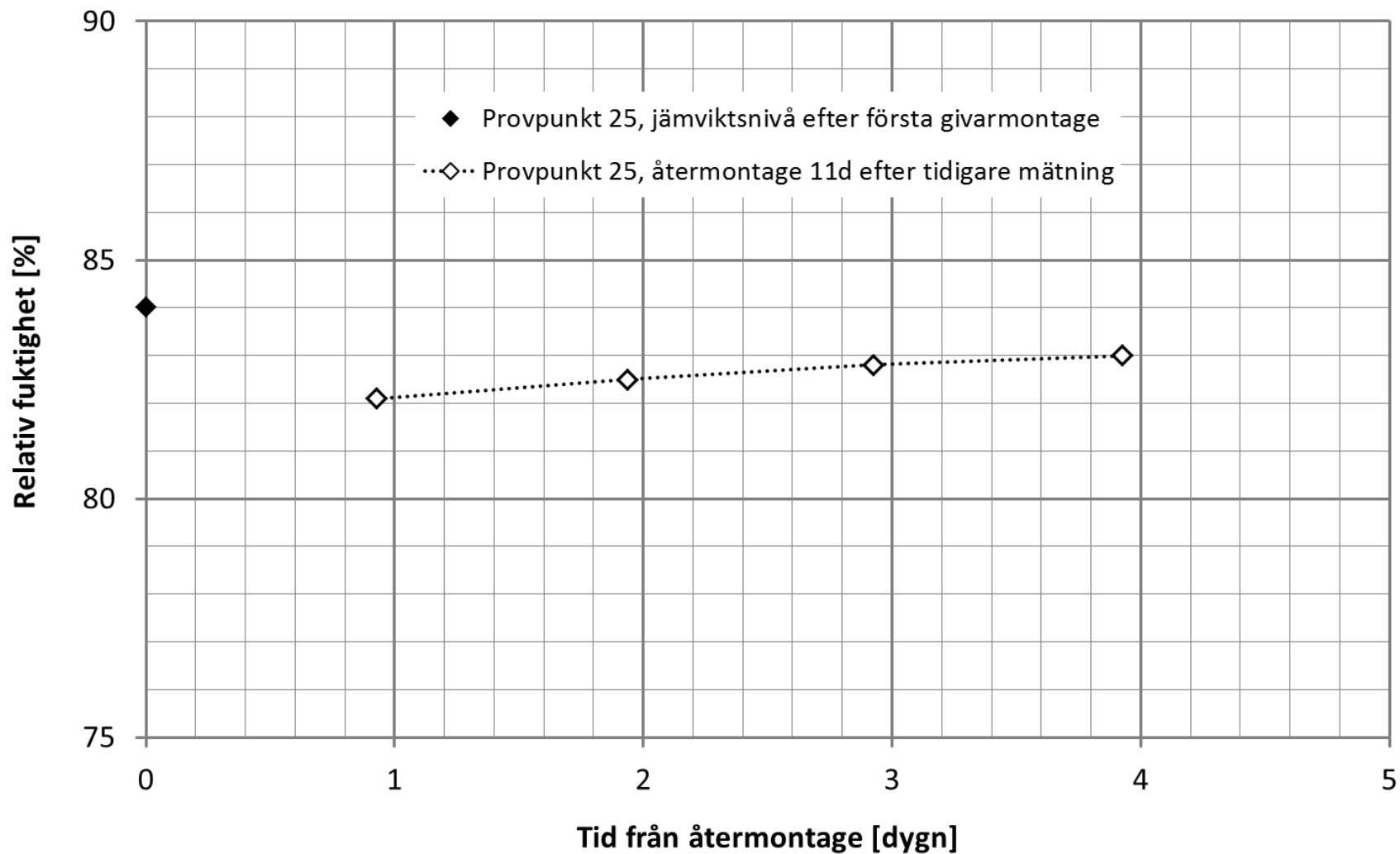
Jämförelse av RF efter första montage (3 dygn) samt återmontage i borrhål, HumiGuard



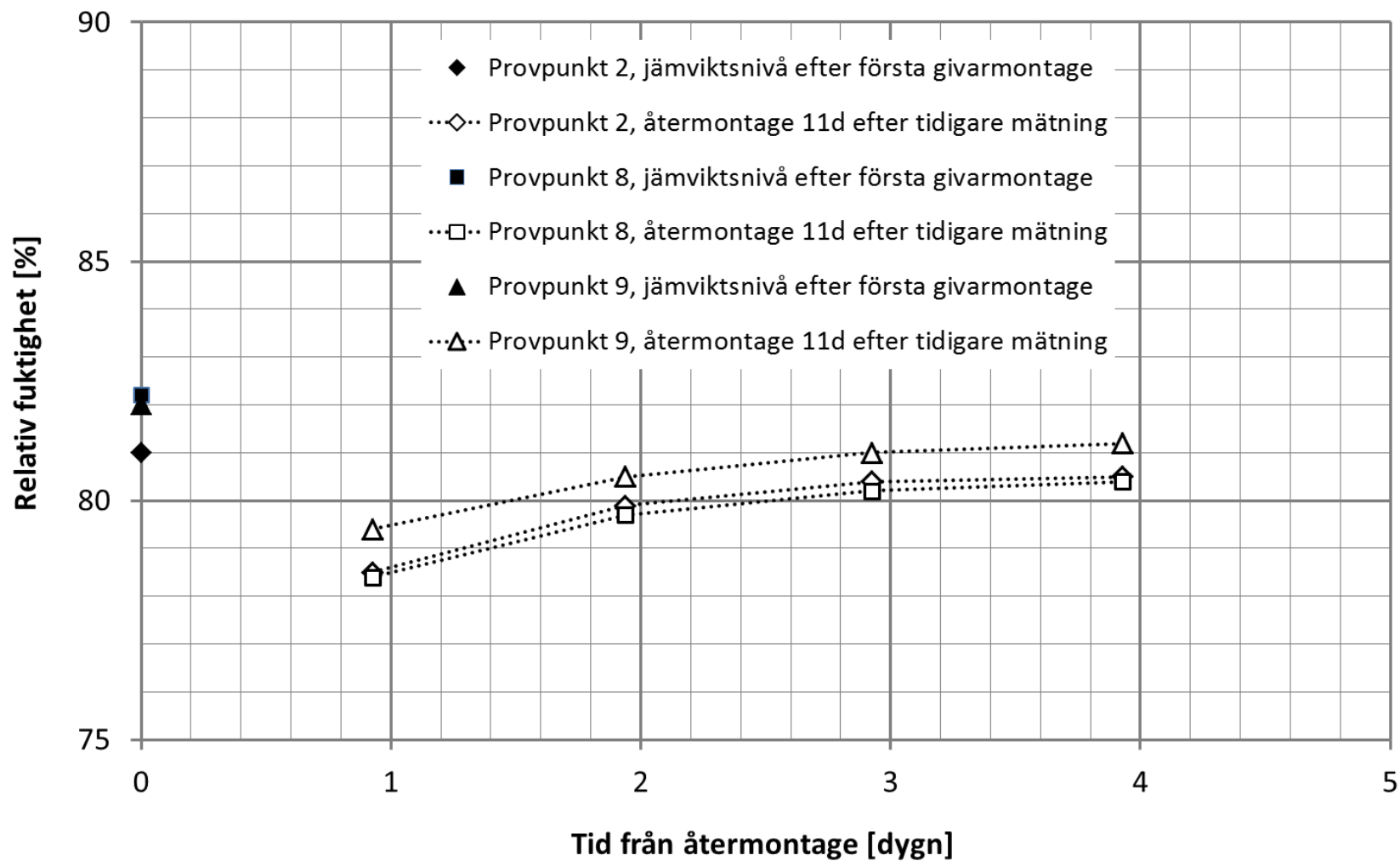
Jämförelse av RF efter första montage (0 dygn) samt återmontage i borrhål, Vaisala HMP44



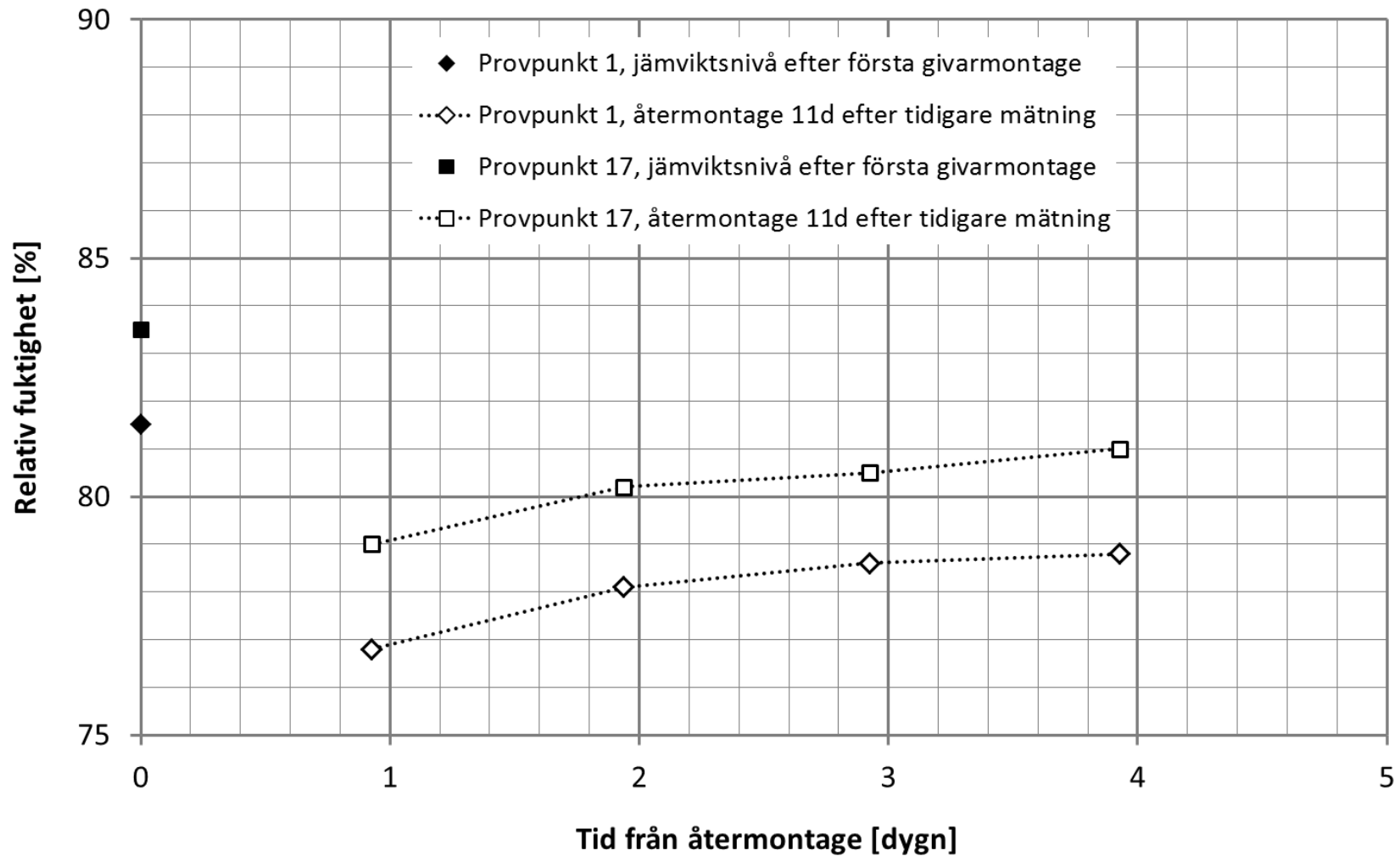
**Jämförelse av RF efter första montage (3 dygn) samt återmontage i borrhål,
Vaisala HMP44**



**Jämförelse av RF efter första montage (0 dygn) samt återmontage i borrhål,
Testo 605**



**Jämförelse av RF efter första montage (3 dygn) samt återmontage i borrhål,
Testo 605**



Mätning av fuktkapacitet hos RF-givare och filter vid absorption

Givare

- HumiGuard
- Vaisala HMP44
- Vaisala HMP110
- Testo 605
- Testo 635

RF-nivåer

33, 75, 85 och 95 %





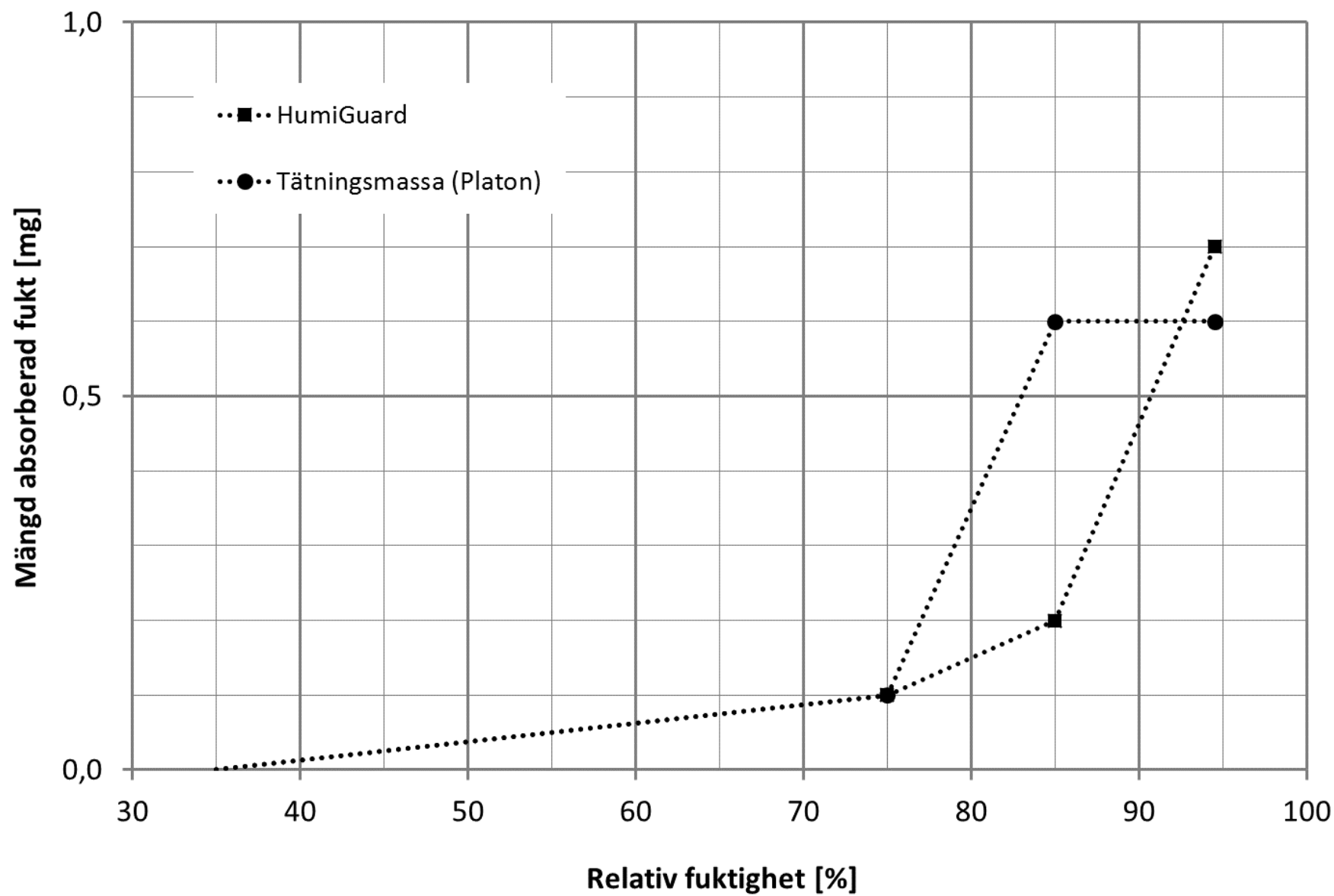
Vägning av RF-sensor vid pågående exponering för olika RF-nivåer med hjälp av mättade saltlösningar i glasburkar.

Fuktkapacitet hos RF-givare



HumiGuard-givare med sensor och plasthölje.

Fuktkapacitet hos HumiGuard RF-sensor inklusive plasthylsa





Kapad och förseglad HMP44-givare med sensor, gallerskydd och pappersfilter.



Kapad och förseglad HMP44-givare med sensor, gallerskydd och demonterat pappersfilter.

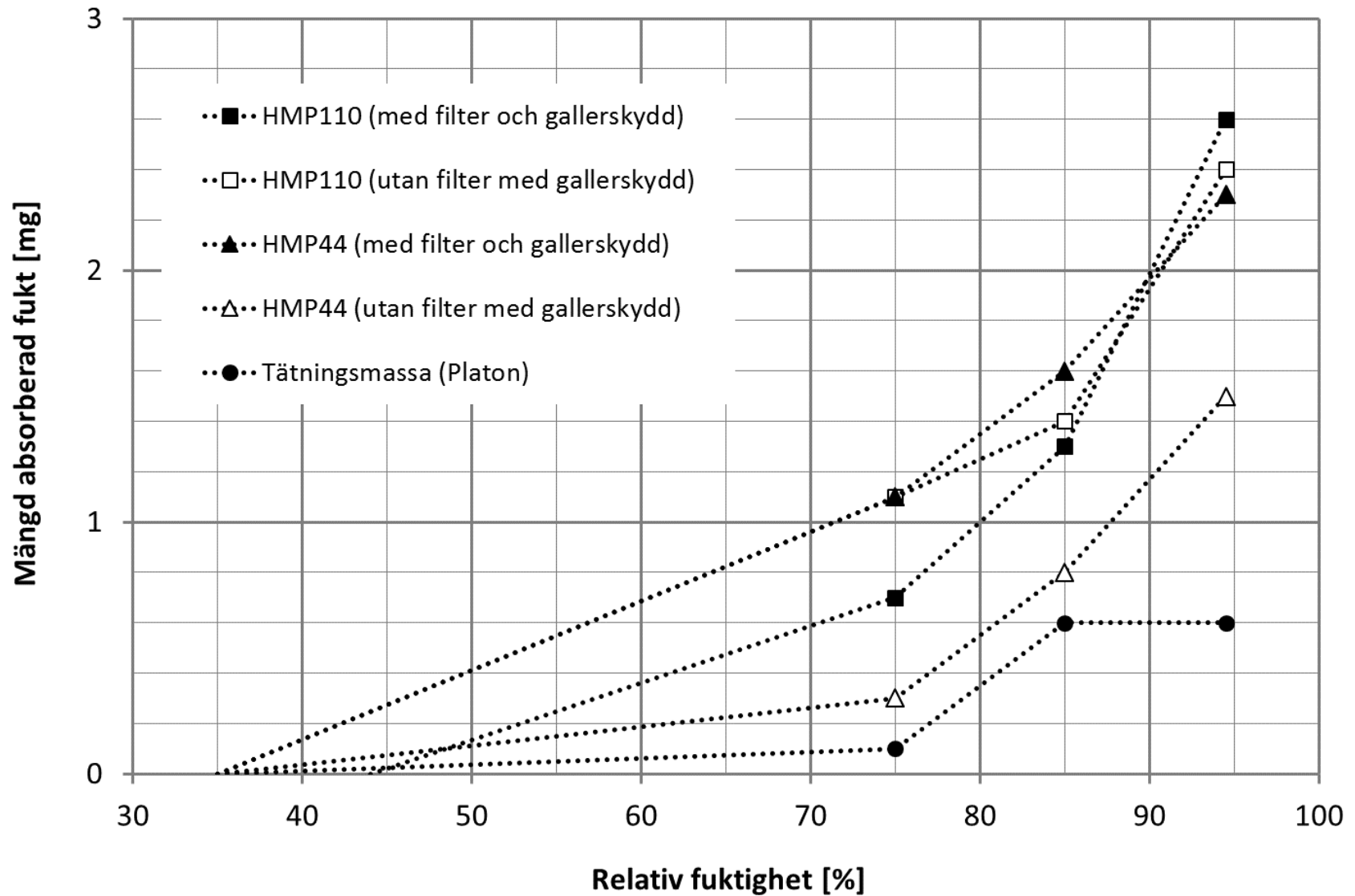


HMP110-givare med sensor, gallerskydd samt pappersfilter och förseglat kabeluttag i bakstycket.



HMP110-givare försedd med gallerskydd utan filter och förseglat kabeluttag i bakstycket.

Fuktkapacitet hos Vaisala RF-sensor med och utan filter



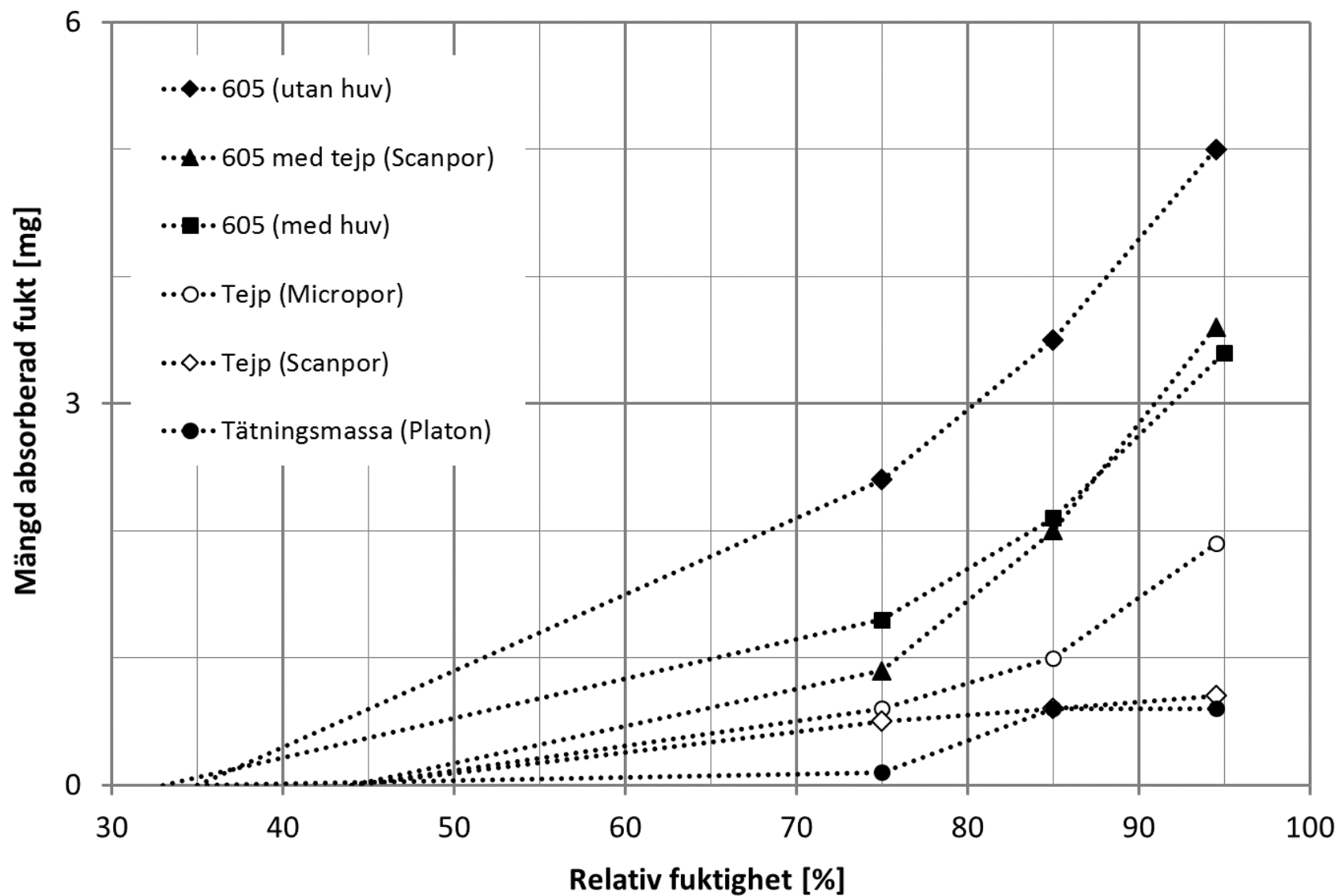


Kapad och förseglad 605-givare med sensor utan skyddshuv.



Kapad och förseglad 605-givare med sensor utan skyddshuv och försedd med tejp (Micropor 10x40mm).

Fuktkapacitet hos Testo 605 RF-sensor med och utan skyddstejp



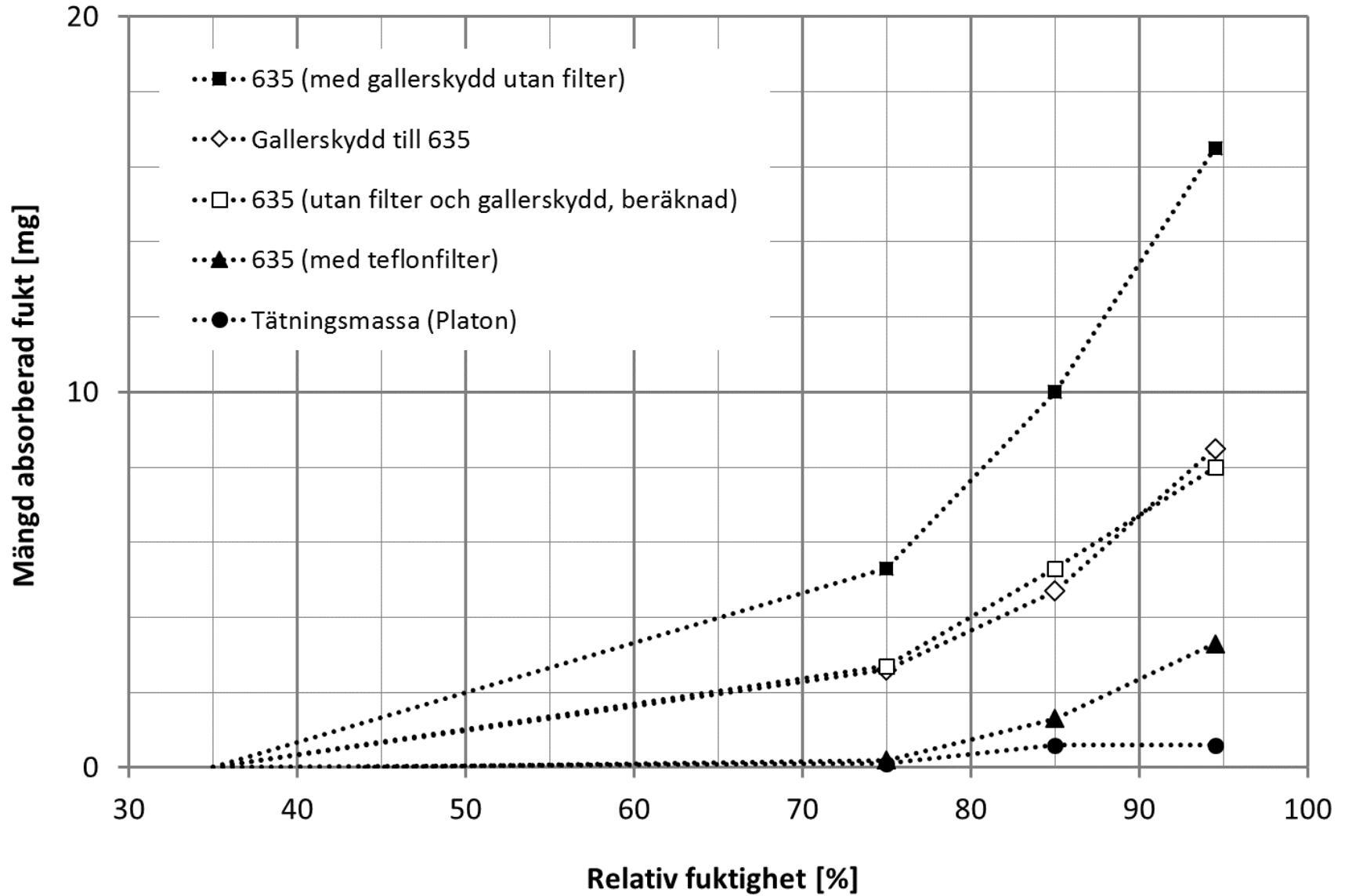


Kapad och förseglad 635-givare med sensor och teflonfilter.



Kapad och förseglad 635-givare med sensor och öppet gallerskydd

Fuktkapacitet hos Testo 635 RF-sensor med och utan filter



Slutsatser från mätning av fuktkapacitet hos RF-givare och filter vid absorption

- Den öppna Testo 605 hade högst fuktkapacitet.
- För Testo, oavsett modell 605 eller 635, verkar således filtren ha en "fuktskyddande" effekt och utgör barriär mellan den aktiva delen av sensorn och omgivand luft.
- Sannolikt har filtren förhållandevis stort ånggenomgångsmotstånd i kombination med en hög fuktkapacitet hos sensorernas aktiva del.
- Kombinationen av dessa två egenskaper skulle kunna resultera i att givarna behöver lång tid att nå ett jämviktsläge och samtidigt riskera att underskatta RF-nivån hos betongen.

Kontroll av ångtäthet hos RF-givare och tillhörande tätningssystem

Givare

- HumiGuard
- Vaisala HMP44
- Vaisala HMP110
- Testo 601 (föregångare till 605)
- Testo 605
- Testo 635

Tätningssystem

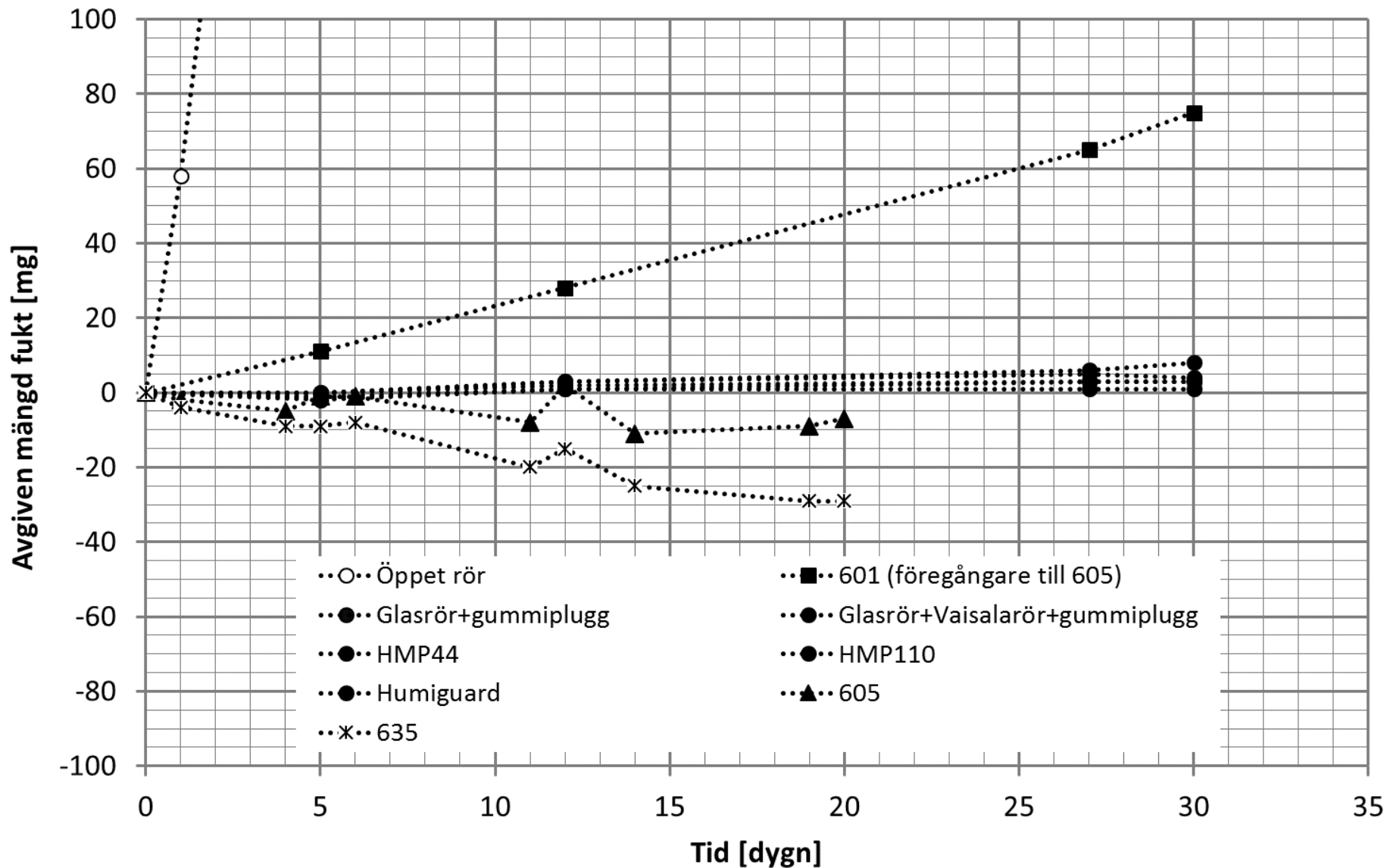
- Glasrör + gummiplugg
- Glasrör + Vaisalarör + gummiplugg





RF-sensorer monterade i provrör av glas fyllda med 1 cm vatten för kontroll av anslutningarnas ångtäthet.

Läckage genom monterad RF-givare samt tillhörande tätningssystem



Slutsats från kontroll av ångtäthet hos RF-givare och tillhörande tätningssystem

- Sammanfattningsvis resulterade läckagetestet i att det som mest avgick cirka 10 mg vatten under 30 dygn.
- Hur detta påverkar RF-nivån i provhålet är mycket komplicerat att avgöra utan omfattande datorsimulering. Resultatet från en datorsimulering kommer emellertid också att bjuda på osäkerheter eftersom en rad antagande måste göras. Ett alternativ är att göra bedömningen hur den förlorade fuktmängden påverkar RF-nivån hos ett uttaget prov vilket innebär att endast en begränsad provmängd kan bidra med fukt.
- Uppskattningsvis resulterar det ackumulerade läckaget under 30 dagar i en sänkning av RF-nivån om cirka 0,2 %. Detta förutsätter att effekten av förlorad fukt är likvärdig både för uttaget prov och borrhålsmätning.

Slutsatser från samtliga delar av projektet, steg 1-3

Uttaget prov underskattar RF oavsett vct

- Resultaten innebär i praktiken att RF-mätning på uttaget prov kan räknas som en utdömd metod.

Låga RF-nivåer och lång tid till jämvikt med Testo

- Testo 605 rekommenderas utgå från RBKs fuktmätningsrutiner med hänsyn till ovanstående resonemang.
- När det gäller Testo 635 tyder mätningarna på att teflonfiltret har ett förhållandevis högt ånggenomgångsmotstånd. Sensorns höga fuktkapacitet medför att RF riskerar att underskattas för moderna betongsammansättningar med mineraliska tillsatser. Givaren rekommenderas att utgå från RBK-systemet.

Borrhålsmätning med HumiGuard, Vaisala HMP44 och Vaisala HMP110

- Endast givare av fabrikat/modell; HumiGuard, Vaisala HMP44 och HMP110 med tillhörande pappersfilter används för borrhålsmätning.
- Givare monteras tidigast 3 dygn efter borrning och avläsning sker tidigast 3 dygn efter montering.
- Montering av givare i samband med borrning utgår som metod.

Återmontage i borrhål

- Återmontage av RF-givare i borrhål anses inte tillförlitlig framöver vilket innebär att nya borrhål måste borraras för varje tillfälle givare ska monteras.

Inverkan på RF-nivån när givare loggas

- Vid mätningar när RF-givare kopplas till datalogger måste uppställningen undersökas så att loggningen inte innebär att givaren värms eller påverkas ur annan aspekt. Om sådana effekter upptäcks måste de gå att kvantifiera och därefter användas för att justera kalibreringskurvan. Detta är viktigt att beakta om utrustning för loggning ska användas inom RBK-systemet i framtiden.

Behov av vidare undersökningar 1

- Hur RF-nivån påverkas vid återmontage av Vaisala HMP110
- Hur RF-sensors fuktkapacitet samt tillhörande filters fuktkapacitet och fukttransportförmåga inverkar på avvikelser mellan verklig och uppmätt RF-nivå.
- Analysera fuktegenskaper hos framtida betongsammansättningar med mineraliska tillsatser genom att ta del av materialdata från pågående forskningsprojekt.
- Ta fram principiella riktlinjer för RBK-systemet vilka kan användas för att justera avläst RF med hänsyn till olika givares fuktkapacitet vilket blir nödvändigt för betonger med mineraliska tillsatser. Dessa betonger får flackare sorptionsisoterm och minskad fukttransportförmåga, jämfört med dagens betonger, vilket innebär att fuktkapaciteten hos en RF-sensor, till större del än idag, bidrar till att öka skillnaden mellan avläst och verklig RF.

Behov av vidare undersökningar 2

- Ta fram kravspecifikation för nästa generations fuktgivare med tillhörande loggningssystem anpassat för kommande betonger och fuktkrav.
- Sannolikt är dagens kritiska fuktnivåer med avseende på alkalisk nedbrytning, orsakad av betong, inte relevanta för framtida betongsammansättningar. Detta eftersom inblandningen av reaktiva mineraliska tillsatser till en allt större del kommer att ersätta Portlandcementet. En fortsatt tillämpning av dagens kritiska fuktnivåer enligt AMA kan därför innebära att betongen torkas onödigt lång tid.
- För att säkerställa rimliga uttorkningstider när framtida betongsammansättningar börjar tillämpas i större skala, vilka sannolikt har långsammare uttorkning, krävs en ökad förståelse kring kritiska fuktnivåer. Syftet med den föreslagna undersökningen är att ge konkreta fuktkrav för material som betongens ska beläggas med, det vill säga nya kritiska fuktnivåer.

