



UPPSALA
UNIVERSITET

ISRN UTH-INGUTB-EX-B-2021/009-SE

Examensarbete 15 hp

Juni 2021

Fuktberäkningar i fogbetongen mellan håldäcksplattor

En analys av det ekvivalenta mätdjupet

Rohollah Akhlaqi
Jon Momqvist

FUKTBERÄKNINGAR I FOGBETONGEN MELLAN HÅLDÄCKSPLATTOR

En analys av det ekvivalenta mätdjupet

Rohollah Akhlaqi och Jon Momqvist



UPPSALA
UNIVERSITET

Moisture calculations in hollow-core slabs

Rohollah Akhlaqi
Jon Momqvist

Abstract

This thesis covers calculations of the equivalent measuring depth in the joint concrete between hollow-core slabs performed using the calculation and simulation program WUFI Pro. The calculations are based on input data from field measurements performed by Polygon|AK in Uppsala. Input from the company has been combined with a moisture profile from the calculation program Torka S to construct a basic model in WUFI. Simulations have been made based on the basic model with constant water-cement ratio in joint concrete, three varying parameters in terms of relative humidity in spackle, leveling height for spackle and vapor resistance in carpets. In order to get a broader result basis, 18 different typical cases for further analysis have been studied.

The calculation results indicate that the industry standard according to RBK, which states the equivalent measuring depth to 50 % of the hollow-core slabs joint height, does not correspond to the calculation basis for this work. The result of this work indicates that the actual equivalent measuring depth is about 15-18 % of the height of the joint, depending on the selected parameters. The difference between the industry standard and the result of this work can be explained by the fact that in the previous calculations of the equivalent measuring depth assumes a completely dense surface layer and no drying downwards and moisture from glue has not been taken into account. The assumption that the water contained in the cross section does not dry out and only redistributes leads to results that do not correspond to today's real conditions in terms of more diffusion-open carpets, moisture from carpet glue and different moisture conditions in spackle.

Teknisk-naturvetenskapliga fakulteten

Uppsala universitet, Utgivningsort Uppsala

Handledare: Maria Sandblad, Johan Tannfors Ämnesgranskare: Galyna Venzhego

Examinator: Petra Pertoft

SAMMANFATTNING

Detta examensarbete avhandlar beräkningar av det ekvivalenta mätdjupet i fogbetongen mellan HD/F-plattor utförda med hjälp av beräknings- och simuleringsprogrammet WUFI. Beräkningarna baseras på indata från mätningar i fält utförda av Polygon|AK i Uppsala. Indata från företaget har kombinerats med en fuktprofil från beräkningsprogrammet Torka S för att sedan konstruera en basmodell i WUFI. Simuleringar har gjorts baserat på basmodellen med konstant vattencementtal i fogbetongen och tre varierande parametrar i form av relativ fuktighet i avjämningsmassa, tjocklek för avjämningsmassa och ånggenomgångsmotstånd för mattorna. Detta för att få ett bredare underlag till resultatet baserat på 18 olika typfall för vidare analys.

Beräkningsresultaten tyder på att branschstandarden enligt RBK som anger det ekvivalenta mätdjupet till 50% av fogens höjd för HD/F-plattor inte stämmer överens med detta arbetes beräkningsunderlag. Arbetes beräkningsresultat tyder på att det egentliga ekvivalenta mätdjupet är omkring 15-18% av fogens höjd, beroende på valda parametrar. Differensen mellan branschstandarden och detta arbetes resultat kan förklaras med att i de tidigare beräkningar av det ekvivalenta mätdjupet antas ett helt tätt ytskikt och ingen uttorkning nedåt samt att ingen hänsyn till matlimmet tas. Antagandet att det vatten som finns i elementet inte torkar ut och bara omfördelar sig leder till resultat som inte motsvarar dagens verkliga förhållanden i form av mer diffusionsöppna mattor, fukt från matlim och andra fukttillstånd i avjämningsmassan.

Nyckelord: Beräkningar, Ekvivalent mätdjup, Fogbetong, HD/F-platta, WUFI Pro, Fuktprofil, Torka S, Simulering, RBK, Uttorkning.

FÖRORD

Detta examensarbete omfattar 15 högskolepoäng och utgör det avslutande momentet av våra studier på högskoleingenjörsprogrammet i byggt teknik vid Uppsala universitet. Arbetet har utförts på uppdrag av Polygon|AK i Uppsala under period två av vårterminen 2021.

Under arbetets gång har vi strävat efter en jämn arbetsfördelning där Rohollah har ansvarat för simuleringar i WUFI och Jon har ansvarat för beräkningar av fuktprofiler från Torka S. Ett gemensamt ansvar har tagits för arbetets övriga genomföranden samt skrivandet av denna rapport. Vidare har vi anpassat arbetet i enlighet med rådande rekommendationer för social distansering under den pågående pandemin.

RA har ansvarat för avsnitt

1.5, 2.1, 2.3, 3.1, 3.3, 3.4, 4.3, 4.4, 6.

JM har ansvarat för avsnitt

1.1, 1.2, 1.3, 1.4, 2.2, 3.2, 4.1, 4.2, 5.

Vi vill tacka våra handledare Maria Sandblad och Johan Tannfors för deras bidrag av nödvändig kunskap för arbetet samt stöd i utförandet av arbetets beräkningar. Vi vill även tacka vår ämnesgranskare Galyna Venzhego för hennes råd och stöd i skrivandet av denna rapport.

Uppsala, juni 2021

Rohollah Akhlaqi

Jon Momqvist

TERMINOLOGI

Alkalisk hydrolys - Även kallad polymerhydrolys eller limförtvålning. Vatten med högt pH-värde reagerar med den basiska betongen som sen bryter ned kolkedjor i limmet till plastmattor.

Avjämningsmassa - På betongen ovanliggande flytspackel. Appliceras för att skapa en jämn yta för mattläggning.

Bundet vatten - Fukt som är fysikaliskt bundet till material kan torka ut, fukt som är kemiskt bundet till materialet torkar inte ut.

Byggfukt - Fukt som tillförs under byggnation, avses här med fukt från betongens uttorkning.

Ekvivalent mätdjup - Ett relevant mätdjup på vilket fukttillståndet under uttorkning överensstämmer med maximalt fukttillstånd under ytskiktet efter fullständig omfördelning av fukten.

Fogbetong - Betongen som gjuts mellan HD/F-plattor.

Fuktprofil - Aktuell fuktfördelning i tvärsnittet, kan beskrivas med graf eller tabell över fuktinnehåll för respektive djup.

HD/F-platta - Förspänd håldäcksplatta av betong, förspänd massiv betongplatta och massiv betongplatta, samtliga med underkantsarmering.

HD/F-bjälklag - Betongbjälklag konstruerade av sammansatta förspända HD/F-plattor.

Hygroskopisk givare - Del av fuktmätare som tar upp eller avger fukt för att hamna i jämvikt med omgivande miljö i vald mätpunkt och sedan avläser aktuellt fukttillstånd.

Kritisk relativ fuktighet - Även kallat kritiskt fukttillstånd, är när fukthalten i materialet påverkar dess funktion eller medför andra oönskade konsekvenser.

Monitor - Kamera för observation av RF och temperatur i valt skikt i WUFI.

Mätdjup - I detta avseende menas med mätdjup det nominella borrhålsdjup som används för fuktmätning i fogen mellan håldäcksplattor.

Plastmatta - På avjämningsmassa ovanliggande PVC-matta med tillhörande ånggenomgångsmotstånd.

RBK - Rådet för Byggkompetens, samarbetsorgan för bland annat standardiserade kontrollmetoder.

Relativ fuktighet, RF - luftens fuktmängd i förhållande till den maximala fuktmängden som luften kan bära vid rådande temperatur.

Uttorkning - Sker i material genom avdunstning, kapillärtransport och ångtransport.

Vattencementtal, (VCT) - Kvoten mellan vatten och cement i betong mätt i kilogram. Generellt sett största bidragande faktorn till betongens torktid.

Ånggenomgångsmotstånd – Motstånd till fukttransport i ångfas.

Hydratation - När betongens delmaterial blandas och kemiska reaktioner sker mellan cement och vatten.

INNEHÅLL

1. INLEDNING	1
1.1 Bakgrund	1
1.2 Syfte och mål	2
1.3 Avgränsningar	2
1.4 Frågeställningar	2
1.5 Metod	3
2. TEORI	4
2.1 Betong och håldäcksplattor	4
2.1.1 Cement	5
2.1.2 Vatten	5
2.1.3 Ballast	6
2.1.4 Tillsatsmaterial	7
2.1.5 Tillsatsmedel	8
2.1.6 Håldäckselement	8
2.2 Fukt i och uttorkning av betong	13
2.2.1 Fuktmekanik	13
2.2.2 Fuktmätning	18
2.2.3 Fuktberäkning	21
2.2.4 Risker och skador	21
2.3 Beräkningsprogram	23
2.3.1 Torka S 3.2	23
2.3.2 WUFI Pro 6.5	25
3. UTFÖRANDE AV BERÄKNINGAR	30
3.1 Indata för beräkningar	30
3.2 Beräkningar i Torka S 3.2	34
3.3 Beräkningar i WUFI pro 6.5	35
3.4 Resultat	40
3.4.1 Torka S och fuktprofiler	40
3.4.2 RF_{max} och ekvivalent mätdjup	43
4. ANALYS OCH DISKUSSION	47
4.1 Analys av fuktprofiler	47
4.2 Analys av RF_{max} och ekvivalent mätdjup	47
4.3 Diskussion om beräkningsresultat	51
4.4 Diskussion om felkällor	52
5. SLUTSATSER OCH FORTSATTA STUDIER	55
5.1 Slutsatser	55
5.2 Förslag till fortsatta studier	55
REFERENSER	56

BILAGOR

Bilaga A – Torka S

BA 1-3

Bilaga B – RF-fördelning

BB 1-18

Bilaga C – WUFI-rapporter

BC 1-23

1. INLEDNING

1.1 Bakgrund

Som Sveriges viktigaste byggnadsmaterial utgör betongen en central roll i nyproduktionen av bostäder och lokaler [1]. Vid behov av stora spännvidder i bland annat kontorslokaler konstrueras ofta mellanbjälklag av håldäckselement i betong i form av HD/F-plattor. Plattorna är utformade med långsgående håligheter för att med bibehållen hög bärförmåga ha en lägre vikt än motsvarande massiva betongplattor. Efter montering av elementen gjuts en fog mellan plattorna som sedan måste låtas torka ut tillräckligt före applicering av matta, detta för att mattlimmet inte ska råka ut för limförtvålning [2]. I dagsläget utförs fuktmätningar enligt en branschstandard från Rådet för Byggkompetens (RBK) som anger det ekvivalenta mätdjupet för fogen mellan HD/F-plattor som hälften av fogens höjd.

Branschstandarden för det ekvivalenta mätdjupet för fuktmätning i fogen mellan håldäcksplattor baseras på beräkningar utförda år 1979 av Olof Nilsson. Dessa beräkningar ifrågasattes inte förrän år 2003, då nya beräkningar visade att det egentliga ekvivalenta mätdjupet inte stämde överens med det som Nilsson hade beräknat [3]. Mer diffusionsöppna mattor, varierande fukttillstånd i avjämningsmassan och andra tjocklekar på avjämningsmassan bidrar alla till andra fuktförhållanden och torktider än tidigare. Dessa nya och ofta varierande förutsättningar kräver en mer nyanserad analys av det mätdjup som bäst överensstämmer med byggnadsdelens slutgiltiga fukttillstånd efter fuktomfördelning under uttorkning, vilket avgör när under uttorkningen som en plasmatta kan appliceras utan att limmet under mattan riskerar att ta skada [4].

På samma vis som felaktiga bedömningar av uttorkningstider riskerar att leda till fuktrelaterade skador om torktiden underskattas, så riskerar de även leda till förseningar och ändringar i tidplanen om torktiden överskattas. Resultatet av felaktiga bedömningar av torktider innebär därför ofta stora ekonomiska förluster för entreprenören. Branschen är därför i behov av att veta mer exakt när fogen mellan HD/F-plattor har torkat ut tillräckligt inför mattläggning [4].

Mot bakgrund av detta behov har författarna av detta arbete på uppdrag av Polygon|AK i Uppsala valt att med hjälp av beräkningar och simuleringar undersöka det faktiska ekvivalenta mätdjupet för fogbetongen mellan håldäcksplattor i givet fall, med hänsyn till en uppsättning varierande förutsättningar.

1.2 Syfte och mål

Syftet med detta examensarbete är att ta fram underlag åt Polygon|AK för bättre kontrollstandarder för fuktmätning i fogbetongen mellan HD/F-plattor i betongbjälklag samt att nyansera bilden av inverkan av olika parametrar vid projektering och val av ytskikt.

Målet med detta examensarbete är att med hjälp av beräknings- och simuleringsprogram eftersträva det faktiska ekvivalenta mätdjupet i fogbetongen mellan HD/F-plattor, med hänsyn till dagens förutsättningar.

1.3 Avgränsningar

Detta examensarbete omfattar 15 högskolepoäng och utförs under en period av 10 veckor under vårterminen 2021. På grund av den tidsförutsättningen har arbetets omfattning begränsats till endimensionella beräkningar på ett specifikt beräkningsfall med enstaka varierande parametrar för att ge en viss bredd av underlag till arbetets studie.

På grund av tidsbegränsningen inkluderar arbetet heller inte några egna utförda mätningar eller uppföljning av eventuella pågående projekt. Arbetet baseras endast på värden från tidigare utförda mätningar i sedan tidigare avslutade projekt.

1.4 Frågeställningar

- Vad är det faktiska ekvivalenta mätdjupet för fogbetongen mellan håldäcksplattor i det valda beräkningsfallet med valda parametrar?
- Hur påverkar valda parametrar det ekvivalenta mätdjupet för fogbetongen mellan håldäcksplattor i det valda beräkningsfallet?

1.5 Metod

För att ta fram det ekvivalenta mätdjupet i det givna fallet och för att se inverkan av valda parametrar genomförs beräkningar och simuleringar i två fuktprogram; Torka S 3.2 och WUFI Pro 6.5 följt av avläsning med Microsoft Excel. Programmen valdes för att de passar arbetets ändamål väl samt för att programmen var tillgängliga och bekanta för författarna. En fuktprofil för en motsvarande konstruktionsdel under uttorkning beräknas fram med hjälp av Torka S. Fuktprofilen anpassas sedan efter verkliga mätvärden för att sedan appliceras i en simuleringsmodell av konstruktionsdelen i WUFI. Resultat i form av maximalt relativ fuktighet och ekvivalent mätdjup avläses sedan i Excel. Se avsnitt tre om utförande av beräkningar för en mer utförlig förklaring av arbetets metod och arbetsgång i valda program.

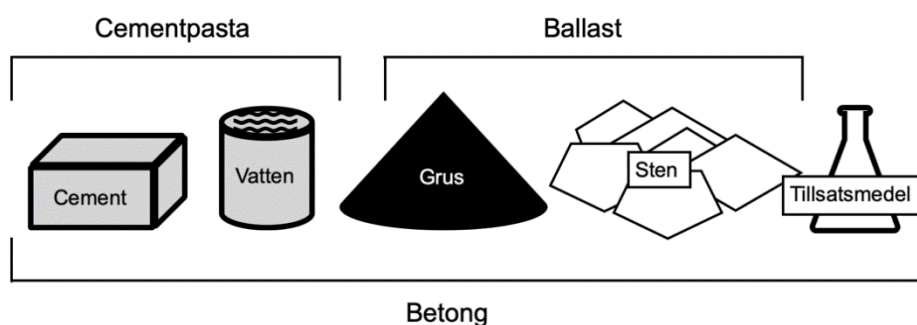
2. TEORI

För att samla in nödvändig grundläggande teori relevant för arbetet har en litteraturstudie genomförts inom ämnena betongbyggnad, byggnadsfysik, fuktlära och materiallära. Litteratur som har använts för arbetet innefattar “praktisk byggnadsfysik” av Kenneth Sandin (2010), “Byggnadsmaterial” av Per Gunnar Burström (2006), “Fukthandboken” av Lars Erik Nevander & Bengt Elmarsson (1994) och Betonghandboken utgiven av svensk byggtjänst (2017). Ur dessa böcker har nödvändiga principer, definitioner, formler och allmän information hämtats för beräkningar och redogörelser i arbetet.

RBKs manualer, flik 2 och flik 3 (2021) har också studerats för att hämta in information om mätmetoder och rutiner för fuktmätning. En tidigare rapport om “Fuktrisker i håldäcksbjälklag förstudie” av SBUF i samarbete med Skanska AB (2003) har också studerats för tillvägagångssätt i beräkningarna som genomförs i WUFI.

2.1 Betong och håldäcksplattor

Med en årlig produktion om ca 6 000 000 kubikmeter i Sverige är betong vårt allra vanligaste byggnadsmaterial [5]. Betong består av cement, vatten, sand, grus och sten. Betong kan även innehålla olika tillsatsmedel för att ge den specifika egenskaper i det färska eller hårdnade stadiet, se figur 2.1. Cement kan i sin tur utöver klinker innehålla andra beståndsdelar såsom flygaska, granulerad masugnsslagg, silikastoft och kalkstensfyller [6].



Figur 2.1, Betongens beståndsdelar.

2.1.1 Cement

Cement är det hydrauliska bindemedel i pulverform, som binder samman betongens olika beståndsdelar. Ett hydrauliskt bindemedel innebär att det hårdnar genom reaktion med vatten till en produkt som är beständig mot vatten. Denna härdning sker såväl i luft som i vatten [6]. Cement framställs genom förbränning av en blandning av kalksten och lera, som har malts ner tillsammans med gips. Det är främst vid förbränningen som detta material får sin hydrauliska egenskap [1].

Egenskaperna hos europeiska cement är reglerade i cementstandarden EN 197-1. Den svenska nationella cementstandarden som betecknas med SS-EN 197-1 är en direktöversättning av den europeiska versionen som klassificerar och delar upp cementtyperna enligt följande [6]

CEM I	Portlandcement
CEM II	Sammansatta Portlandcement
CEM III	Slaggcement
CEM IV	Puzzolancement (Används inte i Sverige)
CEM V	Kompositcement (Används inte i Sverige)

2.1.2 Vatten

Vatten som används för betongtillverkning avhandlas utförligt i SS-EN 1008. Av denna standard framgår det att dricksvatten är normalt lämpligt för användning i betong, men att problem kan uppstå när annat vatten som innehåller kemikalier och substanser brukas [6].

Betongens fysikaliska egenskaper som hållfasthet, täthet, fuktinnehåll och uttorkning bestäms främst av mängden vatten i förhållande till mängden bindemedel, det så kallade vattencementtalet, (VCT), se ekvation 2.1. Ett högt VCT innebär stor utspädning av limmet i betong vilket inte är fördelaktigt ur hållbarhets- och täthetssynpunkt. Å andra sidan bör betongens sjunkande bearbetbarhet i samband med lägre VCT beaktas [3].

$$vct = \frac{W}{C} \quad (2.1)$$

där

W [kg] är mängden blandningsvatten;
C [kg] är mängden cement.

Kemiskt bundet vatten

Det kemiskt bundna vattnet, även kallat icke förångningsbara vattnet, är det vattnet som är hårt bundet i materialet. Detta vatten räknas inte som fukt och är en del av materialets torra struktur. Detta vatten avdunstar inte vid en uppvärmning upp till 105°C, som en följd vid avgång av detta vatten kan en materialförstöring observeras [1].

Fysikaliskt bundet vatten

Det fysikaliskt bundna vattnet, även kallat fritt vatten eller förångningsbart vatten är det vatten som avgår då materialet upphettas till över 105 °C. Detta vatten finns i materialets porer och porrväggar och är det vatten som benämns fukt [1].

2.1.3 Ballast

Ballast är ett samlingsnamn på flera bergartsmaterial som används för betongtillverkning. Enligt [1] består ballast främst av naturliga bergarter som antingen brukas direkt i sin ursprungliga form när det utvinns ur grustäkt eller krossas.

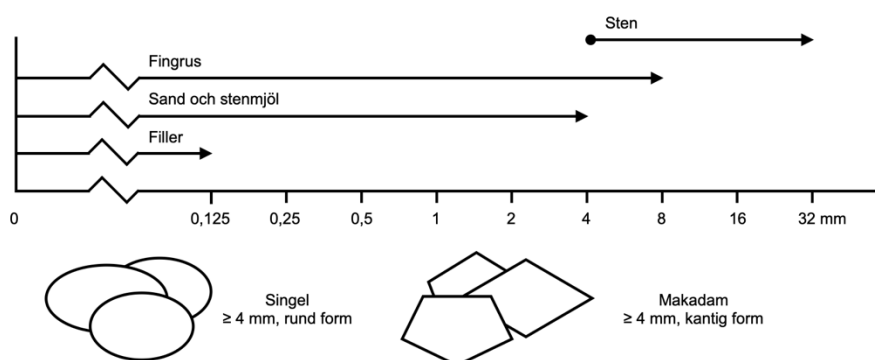
Ballast sorteras vanligtvis efter kornstorlekarna där

≤ 4 mm betecknas sand;

≤ 8 mm betecknas fingrus;

≥ 4 mm betecknas sten.

Sten delas i sin tur upp i makadam med kantiga former eller singel med runda former som t.ex. utvunnits ur rullstensåsar, se figur 2.2.



Figur 2.2, Ballastbeteckningar.

2.1.4 Tillsatsmaterial

Enligt SS-EN 206 (Betong – Fordringar, egenskaper, tillverkning och överensstämmelse) definieras tillsatsmaterial som ett finfördelat mineraliskt material som används i betong för att förbättra eller erhålla specifika egenskaper [6].

De allra vanligaste tillsatsmaterialen som används i Sverige idag är silikatstoft, flygaska, och mald granulerad masugnsslagg [1]. Det finns andra förekommande tillsatsmaterial men som används i begränsad utsträckning, som till exempel metakaolin, risskalsaska, vulkanaska (t.ex. trass), kalcinerad lera och skiffer [6].

Silikatstoft är ett finkornigt pulver som erhålls som en restprodukt vid tillverkning av legeringsämnen till stål. Vidare skriver författaren att vid användning av ett sådant tillsatsmaterial ökar både stabilitet, sammanhållning och vattenbehovet, vilket ger upphov till att vattenreducerande tillsatsmedel bör användas. Flygaska som i huvudsak består av aluminumsilikatglas är en restprodukt som erhålls från värmeverk och kolpulvereldade kraftverk [1].

Cementpastans struktur förändras mer eller mindre kraftigt med avseende på mängd tillsatsmaterial som används i betongsammansättning. Därför är det av stor vikt att beakta denna effekt genom att lägga till parametrar i det tidigare definierade vattencementtalet. Denna parameter benämns effektivitetsfaktor och anger hur stor andel av tillsatsmaterialet som kan ersätta portlandcementet. Vattenbindemedeltalet ges av

$$v_{bt} = \frac{W}{C + \beta D} \quad (2.2)$$

där

W [kg]	är mängden blandningsvatten;
C [kg]	är mängden cement;
β (0-1)	är "effektivitetsfaktorn";
D [kg]	är mängden tillsatsmaterial.

2.1.5 Tillsatsmedel

Tillsatsmedel avser de olika kemiska produkterna som används för att modifiera betongens egenskaper både i färskt och hårdnat tillstånd [1]. Klassificeringen av tillsatsmedlen sker oftast beroende på vilken inverkan det använda medlet har och i vilket syfte den tänkta betongen ska brukas. I [1] hävdar författaren att flyttillsatsmedel som är det vanligaste medlet reducerar vattenhalten med 10-30 % vilket leder till att hållfastheten hos betongen ökar medan krympningen reduceras. Detta i sin tur resulterar i att en lättflytande betong med ökad bearbetbarhet och bibehållen sammanhållning erhålls.

Vattenreducerande tillsatsmedel, även kallat plasticerande medel minskar som namnet antyder vattenbehovet vid oförändrad cementhalt, dock besitter inte detta medel samma effektivitet som flyttillsatsmedel [1]. Luftporbildande medel används i syftet att förhindra frostsador i betongen. Detta uppnås genom att medlet skapar stora mängder små och förfinade luftblåsor i cementpastan som ger vattnet expansionsmöjligheter vid isbildning.

Acceleratorer påskyndar kemiska reaktioner i betongen som gynnar hållfasthetstillväxt och tillstyvnadsförloppet. Kalciumklorid den vanligaste acceleratoren och bör användas i betong för inomhuskonstruktioner då klorid är ett ämne som utgör risk för korrosion hos armeringen [1].

Retarderande tillsatsmedel har då en motsatt effekt jämfört med acceleratoren i och med att det fördröjer tillstyvnadsprocessen utan att påverka hållfasthetstillväxten när processen tilltar. Detta i syfte att den tillverkade betongen ska kunna klara långa transportsträckor.

2.1.6 Håldäckselement

HD/F-plattor utgörs av prefabricerade betongelement med längsgående hålskanaler, förspänd armering och underkantsplacerade spännlinor. I [3] skriver författaren att hålskanalerna medför att materialåtgången minskar, vilket i sin tur möjliggör för längre spännvidder jämfört med ett homogent material. De allra vanligaste tillverkningsmått är med en bredd på 1,2 m, en höjd som varierar mellan 0,2-0,4 m medan spännvidderna kan uppgå till 17 m [3]. Utöver den stora spännvidden har dessa element andra attribut så som en slät undersida vilket gör dessa betongelement lämpliga att använda vid produktion av kontor och bostäder.

Produktionen av betongelementen sker i en industriell miljö med delvis automatiserade maskiner [6], se figur 2.1.

Ett håldäcksbjälklag produceras genom glidformsgjutning i långa banor. Armeringen placeras i underkant och spänns över banan. I nästa steg extruderar håldäcksmaskinen betongen över banan samtidigt som den formar kanaler som omvandlar elementet från en solid platta till en håldäcksplatta, se figur 2.2. Extrudering innebär strängsprutning, en metod att forma plastiska, vanligen degliknande massor [7].



Figur 2.1, Produktion av HD/F i industriell miljö, källa: [8].



Figur 2.2, Undersida av håldäcksroboten som formar de längsgående hålskanalerna, källa: [8].

För att öka produktionstakten gjuts oftast betongen med VCT 0,4 eller lägre. Detta gör att betongen blir torrare och fastare i strukturen vilket i sin tur leder till att håldäcket inte kollapsar under härdningsprocessen [8].

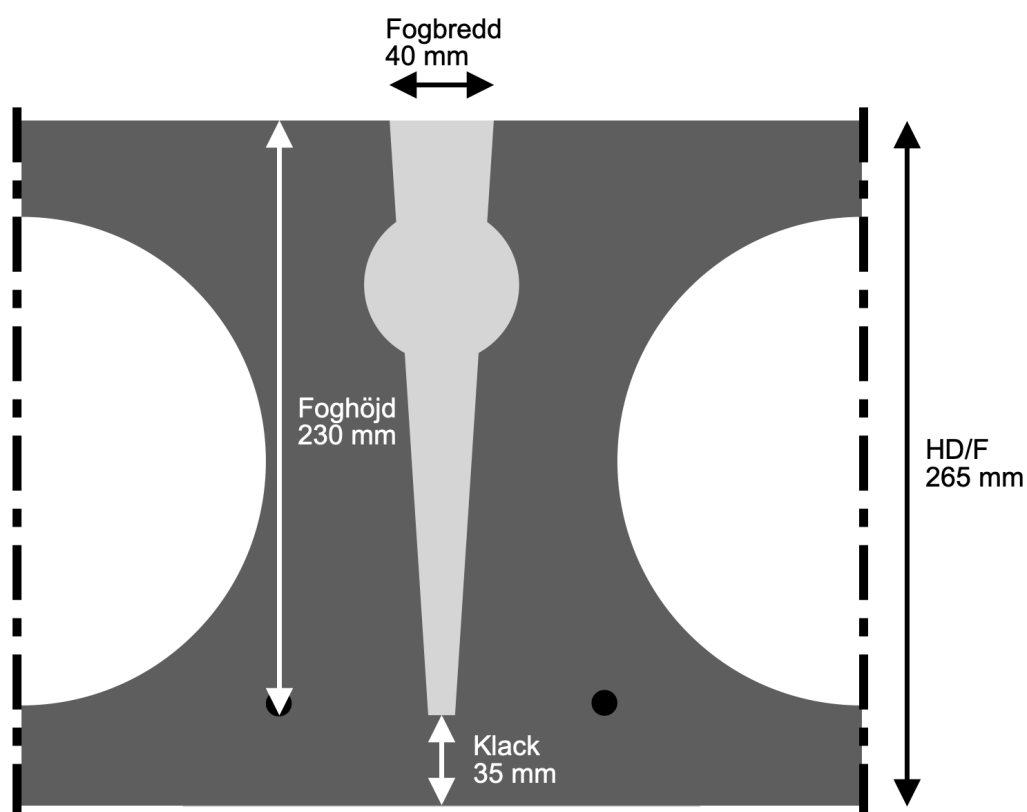
Håldäcksplattorna gjuts i sina fulla längder. Efter gjutning täcks håldäcken över under härdning för att förhindra en alldeles för snabb torkning. Håldäcken sågas sedan i önskvärda mått med en specialklinga som kapar både betong och förspänd armering [8], se figur 2.3.



Figur 2.3, Håldäcksplattor i fulla längder före beskärning.

HD/F-fog

Efter placering av håldäcksplattorna gjuts en fog mellan varje platta i en förutformad hållighet som agerar form åt fogen. Efter uttorkning stabiliseras plattorna av fogen samt fyller ut hålrummet inför avjämningsmassa och mattpåläggning. VCT i fogbetongen varierar normalt mellan 0,38 och 0,55 [4]. Fogbetongen tillåts i regel flyta ut över en del av plattorna. Ytan jämnas sedan ut med avjämningsmassa före påläggning av mattan. Se figur 2.3 nedan för fogens tvärsnitt och dimensioner. Fogbredden kan variera från 40 mm upp till 50 mm beroende på elementens deformation under nedböjning [9].



Figur 2.3, Fog mellan 265 mm tjocka håldäcksplattor.

2.2 Fukt i och uttorkning av betong

I detta avsnitt avhandlas för arbetet relevanta begrepp och allmän information om fukt och uttorkning, specifikt i betong. Grundläggande byggnadsfysik förklaras i den mån det berör beräkningar och analyser i arbetet. Vidare förklaras metoder för fuktmätning samt fuktrelaterade skador som kan uppstå till följd av felaktiga mätningar, bedömningar och utföranden.

2.2.1 Fuktmekanik

Med fukt avses vatten i olika aggregationstillstånd och benämns i den här rapporten oftast med relativ fuktighet förkortat till RF, mätt i procent. RF beskriver luftens fuktmängd i förhållande till den maximala fuktmängden som luften kan bära vid rådande temperatur, eller så kallad mättnadsånghalt. Luftens mättnadsånghalt stiger i takt med temperatur och vid 20 °C är den 17.28 g/m³ [10]. Relativ fuktighet beräknas med hjälp av

$$\varphi = \frac{v}{v_s} \quad (2.3)$$

där

φ (0-1) är den relativa fuktigheten;
 v [kg/m³] är den verkliga ånghalten;
 v_s [kg/m³] är mättnadsånghalten.

Fuktinnehållet i ett material kan också beskrivas med fukthalt, som då avser mängden vatten i kilogram per kubikmeter material eller med fuktkvot, som avser andelen vatten i kilogram per mängden torrt material [10]. Sambandet mellan fukthalt och fuktkvot ges av

$$w = u \cdot \rho \quad (2.4)$$

där

w [kg/m³] är fukthalten;
 u (0-1) är fuktkvoten;
 ρ [kg] är materialets torrsvikt.

I Sverige varierar den relativa fuktigheten normalt mellan 60-90 % utomhus och 30-60 % inomhus, men kan utomhus gå så lågt som 35 % vid väldigt torrt väder och så högt som 100 % vid regnväder. På grund av den lägre temperaturen är RF högre på vinterhalvåret medan den verkliga ånghalten normalt är högre under sommarhalvåret. När RF når 100 % övergår vattnet från gasform till fast form och kondens uppstår [10].

Fukttransport

Fukttransporten i ett material sker i ångfas och/eller i vätskefas. I ångfas sker transporten främst genom diffusion, där vattenmolekyler rör sig mot områden med lägre koncentration och fukttransporten sker till följd av skillnader i ånghalt [10]. I den stillastående luften i ett poröst material så som betong ges fukttransporten till följd av diffusion med hjälp av

$$g = -\delta \cdot \frac{dv}{dx} \quad (2.5)$$

där

g [kg/m²s] är fukttransporten;

δ [m²/s] är ånggenomsläplighetskoefficienten;

$\frac{dv}{dx}$ [kg/m³] är ånghaltsgradienten.

Fukttransport i ångfas kan även ske via konvektion, där transporten sker med luften som bärare och påverkas av luftens ånghalt, skillnader i lufttryck och materialets täthet [10] [11]. Möjligheten till fukttransport i ångfas kan beskrivas som ånggenomsläplighet, och motståndet till samma fukttransport som ånggenomgångsmotstånd. Ånggenomgångsmotståndet för en konstruktion ges av

$$Z = \frac{d}{\delta} \quad (2.6)$$

där

Z [s/m] är ånggenomgångsmotståndet

d [m] är konstruktionens tjocklek;

δ [m²/s] är ånggenomsläplighetskoefficienten.

Ett samband mellan ånggenomsläpplighet och ånggenomgångsmotstånd ges sedan av

$$Z = \frac{1}{P} \quad (2.7)$$

där

P [m/s] är ånggenomsläppligheten;
Z [s/m] är ånggenomgångsmotståndet.

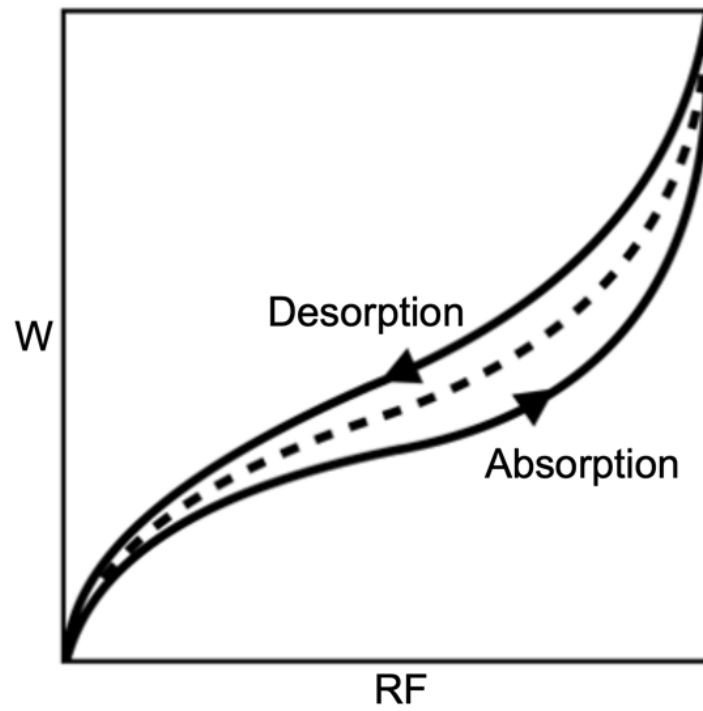
I vätskefas sker transporten främst genom kapillärsugning, där transporten kan påverkas av pådrivande gravitations- och vindkraft. I stora porer sker transporten främst i ångfas medan den i små porer främst sker i vätskefas. Oftast sker fukttransporten i ett material i en kombination av ångfas och vätskefas, där ångfas är den dominerande fasen i låga fukttillstånd och vätskefas är den dominerande fasen i höga fukttillstånd [10] [11].

Fuktomfördelning

Ett material med ett visst fukttillstånd som placeras i en miljö med ett annat fukttillstånd kommer med tiden att närma sig ett jämviktstillstånd med sin nya miljö, vilket är principen för fuktomfördelning. Den fukt som har möjlighet att fördelas med omgivande miljö är den fukt som inte är kemiskt bundet till materialet, till skillnad från fukt som endast är fysikaliskt bundet i porerna, även kallat förångningsbart vatten.

Fuktjämvikt

Det tillstånd där ett material upptar lika mycket fukt som det avger benämns fuktjämvikt. Sambandet mellan ett materials fukthalt och den relativa fuktigheten ges av en jämviktsfuktkurva. Jämviktskurvorna för uttorkning och uppfuktning för betong är inte identiska, då kurvan för desorption ligger över kurvan för absorption eftersom samma vatteninnehåll ger högre relativ fuktighet. Vid de flesta fukttekniska beräkningar för uttorkning bör desorptionskurvan därför användas. För avancerade fall där hänsyn måste tas till kontinuerlig uppfuktning under uttorkningsprocessen kan beräkningar behöva göras baserat på en approximerad kurva mellan de för desorption och absorption. Se figur 2.4 där den streckade linjen avser den approximerade mittenkurvan.



Figur 2.4, Samband mellan vatteninnehåll och relativ fuktighet under uppfuktning och uttorkning, med streckad mittenkurva.

Uttorkningsprocessen

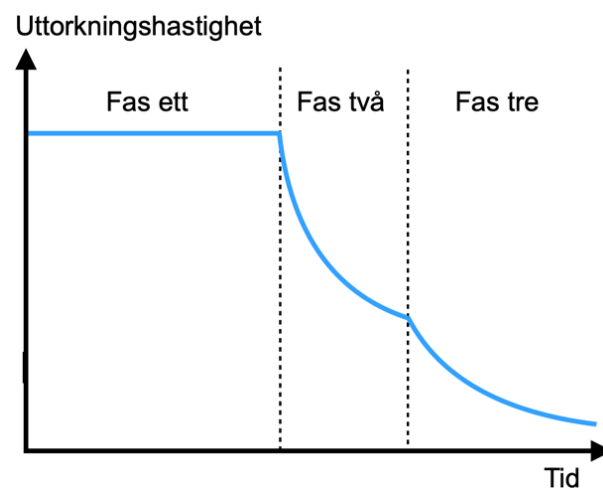
Uttorkning av betong och andra material delas i regel upp i tre faser. Den första fasen består av avdunstning från materialets yta, där avdunstningshastigheten är mindre än vattentransportkapaciteten fram till ytan. I den första fasen är fuktavgivningen i massa per tidsenhet nästan helt konstant och högre än i nästkommande faser. Uttorkningshastigheten under fas ett ges av

$$g = \beta \cdot (v_{sy} - v_l) \quad (2.8)$$

där

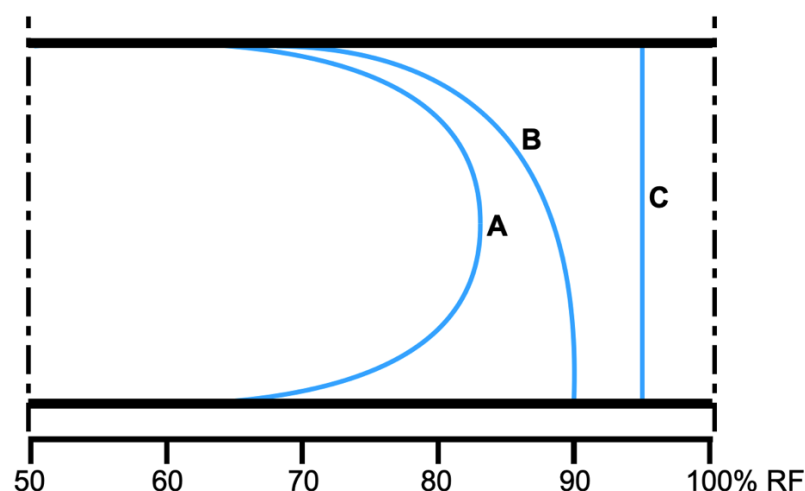
- g [kg/m²s] är uttorkningshastigheten;
 β [m/s] är en fuktövergångskoefficient;
 v_{sy} [kg/m³] är mättnadsånghalten i ytan;
 v_l [kg/m³] är ånghalten i luften.

I nästa fas sker uttorkningen via kapillärtransport, där den i mindre porer sker genom att porer med lägre fukthalt suger ut fukt från porer med högre fukthalt. I större porer sker fukttransporten främst i ångform. I den sista fasen sker fukttransporten endast genom diffusion i ångform där fuktig luft i materialet når jämvikt med torrare luft. Uttorkningshastigheten avtar i takt med själva uttorkningen [10], se figur 2.5.



Figur 2.5, Uttorkningshastigheten under fas ett, två och tre.

I ett bjälklag kan uttorkningen vara både enkelsidig och dubbelsidig beroende på placering av tätskikt, där en dubbelsidig uttorkning ger en snabbare uttorkningsprocess. En betongplatta som gjuts i kvarsittande form antas torka endast uppåt. Fuktprofilen i bjälklagets tvärsnitt kommer att bete sig olika beroende på om uttorkningen sker enkelsidigt eller dubbelsidigt, vilket är varför det är viktigt att anpassa mätdjupet beroende på om uttorkningen sker enkelsidigt eller dubbelsidigt. Se figur 2.6 nedan för fukttillstånd i ett bjälklags tvärsnitt.



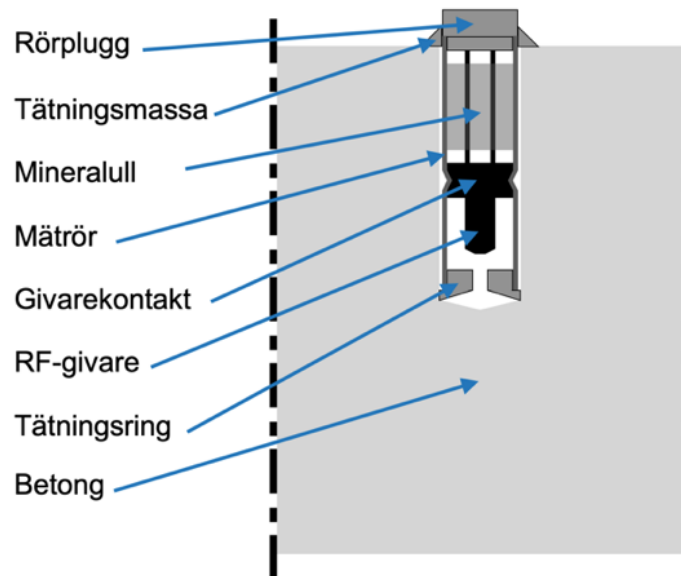
Figur 2.6, Princip för enkel- och dubbelsidig uttorkning i bjälklag, där A visar dubbelsidig uttorkning, B visar enkelsidig uttorkning och C visar ingen uttorkning.

2.2.2 Fuktmätning

En fuktmätning utförs för att kontrollera fuktnivån i ett material. Mätning ger resultat som kan visa på fukthalt, fuktkvot eller relativ fuktighet som används beroende på syftet med mätningen men också beroende på mätt material. I detta arbetes fall är syftet med fuktmätningen att kontrollera om och när ett tätt skikt i form av plastmatta kan appliceras på betongen, och då mäts fuktnivån i storheten relativ fuktighet angivet i procent. Fuktmätning i ett material sker i regel på ett av tre olika sätt:

1. Ytmätning, fuktmätning på ytan som ger ett medelvärde av uppmätt RF i materialet;
2. Borrhålmätning, fuktmätning på sökt mätdjup;
3. Mätning av löst material, fuktmätning av avlägsnat material som placeras i behållare.

Vid mätning av RF i fogbetongen mellan håldäcksplattor använder man sig av metoden fuktmätning i borrhål, detta för att få en mer exakt avläsning på sökt djup. Se figur 2.7 för illustration av metoden för fuktmätning i borrhål.



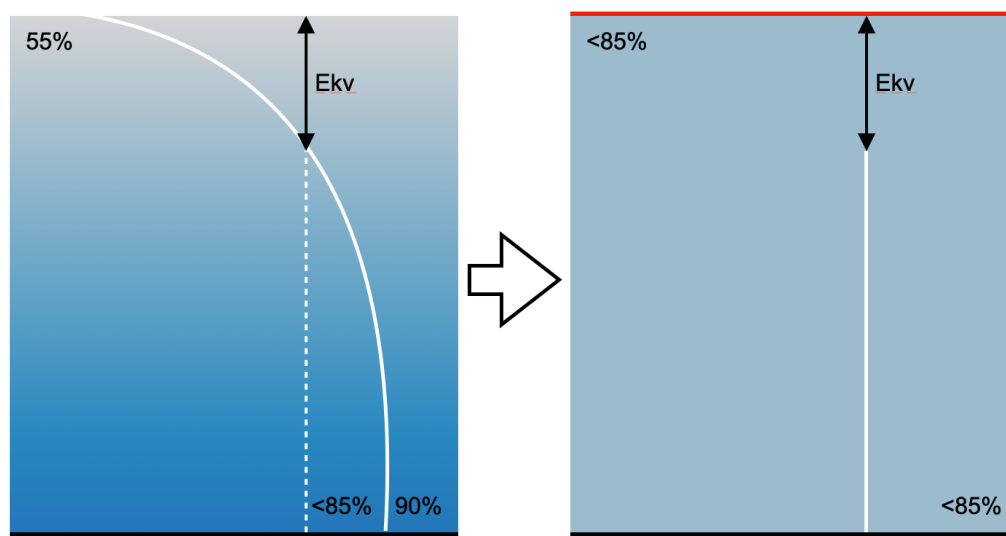
Figur 2.7, Princip för fuktmätning i borrhål, här med HumiGuard-mätare.

Felaktigt utförd mätning av RF ger oftast ett lägre resultat och kan resultera i skada om tidpunkten för placering av övre tätt skikt baseras på detta. Mätinstruktioner måste därför följas noggrant och instrument måste vara rätt kalibrerade om mätresultaten ska kunna vara tillförlitliga. Den som utför fuktmätningen måste därför besitta god kunskap om tillvägagångssätt och vetskap om eventuella felkällor vid mätning [3].

Vid en fuktmätning måste en rad villkor uppfyllas, utöver rätt kalibrerad mätutrustning måste omgivningen hålla en stabil temperatur mellan 15 och 25 °C och jämvikt måste hinna uppnås mellan givare och betong, vilket normalt sker under 24 timmar. Eftersom fukttillståndet i tvärsnittet varierar beroende på djup, och det endast är fukttillståndet på mätdjupet som man vill mäta så måste sidorna samt överkant av borrhålet täckas över för att undvika missvisande resultat. Borrhålets diameter anpassas efter mätinstrumentets behov, och borrhålets djup anpassas beroende på fall, för att eftersträva att nå det ekvivalenta mätdjupet [3].

Ekvivalent mät djup

Det ekvivalenta mät djupet är det mät djup där det uppmätta fukttillståndet bäst överensstämmer med det slutgiltiga fukttillståndet (under mattan) efter fullständig fuktomfördelning, då fukttillståndet varierar genom tvärsnittet med lägre relativ fuktighet vid exponerad över- och underkant och högre relativ fuktighet längre in i tvärsnittet. Efter påläggning av plastmatta kommer fukten att fördela sig jämnt genom hela den förslutna delen och således även under mattan [3]. Se figur 2.8 nedan för principen för ekvivalent mät djup, där ett betongbjälklag med tät gjutform i undersida över tid når fuktjämvikt genom tvärsnittet efter påläggning av diffusionstät matta.



Figur 2.8, Princip för ekvivalent mät djup med fukttillstånd före och efter fuktomfördelning.

Fuktmätning enligt RBK

Rådet för byggkompetens, RBK är ett samarbetsorgan vars intressenter verkar för en hög kunskapsnivå i byggandet och bevakar att branschen har tillgång till aktuell utbildning och kunskapsprövning. RBK förvaltar sitt system "RBK-auktoriserad" fuktkontrollant som innebär att den RBK-auktoriserade fuktkontrollanten följer en detaljerad manual som beskriver ett utarbetat kvalitetssystem. Detta gör att varje RBK-mätning utförs på ett enhetligt sätt. De samarbetande intressenterna i RBK är Byggföretagen, Föreningen Sveriges Byggnadsinspektörer, Ledarna, Byggcheferna och Byggherrarna [3].

Fuktmätning i borrhål i betong kan enligt RBK:s manualer göras med hjälp av en av de tre mätinstrumenten HumiGuard, Testo och Vaisala. Mätinstrumenten använder sig av olika mätare med förfarande som skiljer sig från metod till metod, men alla använder sig av samma fysikaliska princip för RF-mätning i borrhål. Mätningen genomförs med en givare som placeras i ett inneslutet borrhål med öppning endast mot ytan i djupet av borrhålet där öppningen upptill och väggarna i borrhålet försluts tätt för att endast mäta fukttillståndet på det sökta borrhåldjupet. Principen bygger på att en hygroskopisk givare i borrhålet hamnar i jämvikt med omgivande miljö. Efter jämvikt avläses kapacitansen, den elektriska ledningsförmågan som varierar beroende på den relativa fuktigheten i materialet. Mätaren måste därför vara rätt kalibrerad enligt respektive instruktionsmanual innan användning för att resultatet ska vara pålitligt.

2.2.3 Fuktberäkning

Uttorkningsberäkningar som görs för hand eller med hjälp av beräkningsprogram måste ta hänsyn till flera olika faktorer. Parametrar som begynnelsestillstånd i form av dimensioner och materialegenskaper, temperaturer i byggnadsdelen och omgivningen som varierar beroende på årstid och väder samt torktider kommer alla bidra till att påverka uttorkningen. Tillräcklig och tillförlitlig information om byggnadsdelen och omgivningsfaktorer är därför grundläggande för att beräknade värden ska motsvara verkliga värden [11].

2.2.4 Risker och skador

Över 80 % av alla byggnadsskador kan relateras till olägliga fukttillstånd. Fuktrelaterade risker i byggnader kan härledas till följande fuktkällor: byggfukt, rörläckage, nederbörd, ytvatten, markfukt och ångtransport. Skador till följd av ovanstående fuktkällor innefattar mögelpåväxt, röta i biologiskt material, söndervittring, utfällningar, emissioner, försämrad isolering och hållfasthetsförändringar [10]. För arbetet relevanta skaderisker inkluderar alkalisk hydrolys och möglande biologiskt material, då de sker till följd av olägligt fukttillstånd under ytskiktet.

Alkalisk hydrolys

Den risk för skada som i huvudsak ligger till grund för problembeskrivningen i rapporten är påverkan av fukt på golvmaterial. Vatten med förhållandevist högt pH-värde reagerar med den basiska avjämningsmassan som sen bryter ner kolkedjor i limmet under plastmattor. Processen kallas vanligen för limförtvålning, eftersom limmet under hydrolysprocessen kan omvandlas till tvälliknande substans. Byggfukt från bland annat fogbetongen måste därför minimeras innan mattpåläggning [2].

Möglande biologiskt material

En annan risk för skada i överkant av betongbjälklaget är risken för mögelpåväxt på biologiskt material som på något sätt innesluts uppe på betongen eller avjämningsmassan i en miljö med RF över 75 %, vilket kan ske bland annat under plastmattor om betongen eller avjämningsmassan inte är rengjort innan övertäckning. För att förhindra detta måste ytan vara fri från biologisk smuts som till exempel sågspån före övertäckning [2].

Övriga skador

Andra fuktrelaterade skaderisker i samband med betongbjälklag som är mindre relevanta för arbetet, då de inte uppstår på grund av byggfukten från betongen, inkluderar följande: fuktpåverkan på syllar, fuktpåverkan på yttertak, frysskador (kan uppstå innan byggnaden är tät), droppande dräneringshål (till följd av laster som böjer plattorna och öppnar upp hål i bjälklaget), fuktpåverkan på ingjutningar, fuktfläckar i tak och vattenläckage i ingjutna rör [2].

Kritisk RF och högsta tillåtna RF

Den lägsta RF som krävs för att ett material ska kunna utsättas för fuktskada benämns kritisk RF och varierar beroende på material och typ av skaderisk. För de flesta mattlim under plastmattor är den kritiska RF angiven till 90 %, men en högsta tillåtna RF är dock angiven till 85 %. Differensen på 5 % ska då verka som en buffert för att ytterligare minimera risken för limförtvålning i fall med felaktigt utförda beräkningar eller uppskattningar för uttorkning [4].

2.3 Beräkningsprogram

2.3.1 Torka S 3.2

Torka S är ett beräkningsprogram som ofta används som hjälpmedel för uppföljning och planering av uttorkning för byggkonstruktioner. Enbart en beräkning i Torka S är inte tillräckligt för att säkerställa att betongen har torkat till den önskvärda RF-nivån [12]. För att säkerställa att den godkända RF-nivån är uppnådd bör en fuktmätning på fält utföras som komplement till beräkningarna. Vid en fuktmätning bör hänsyn tas till mätningens osäkerhet vilket regleras av RBK. Torka S har begränsningar som bör beaktas vid en analys av utdatan, till exempel tar programmet ingen hänsyn till avjämnningen eller fukten från mattlimmet [13]. Beräkningsgången i Torka S kan beskrivas enligt följande:

I ett första steg delas betongplattans tjocklek automatiskt upp i ett antal beräkningsceller samt det stabila tidssteget beräknas. Enligt fuktcentrum [14] för varje tidssteg och för varje cell som konstruktionen är indelad i beräknas följande parametrar:

- A) Hydratationsutveckling som beskriver den kemiska reaktionen mellan cement och vatten över tid är RF och temperaturberoende samt samarbetsorgan VCT-beroende. I programmet har avhandlingen Byggnadsmaterial av Norling Mjörnell 1997 (refererad i [14]) lagt grunden för beräkning av denna parameter vars resultat har modifierats i den senaste versionen av Torka S 3.2. Inverkan av temperatur på hydratationsutvecklingen kan beskrivas med Arrhenius ekvation för termisk aktivitet [13]

$$\beta_T = e^{\theta(\frac{1}{T_{ref}} - \frac{1}{T+273})} \quad (2.9)$$

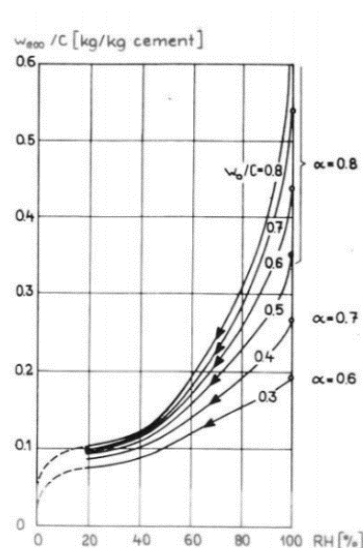
där

β_T är hastighetsfaktor för hydratationsutvecklingen;

θ (°C) är den s.k. ”aktiveringstemperaturen”;

T (°C) är temperaturen.

- B) Jämviktsfuktkurva. Denna parameter är beroende på VCT samt hydratationsgrad och är grundad på avhandlingen Byggnadsmaterial av L-O Nilsson, 1980 (refererad i [13]) med en viss modifikation för att beakta inverkan av alkali. Alkali är mängden KOH och NaOH i porvätskan i en betong som påverkar uppmätt RF, om mängden fukt i kg/m^3 är den samma för två betongtyper så är uppmätt RF högre för betongen med lägst alkaliinnehåll [14]. Se *figur 2.9* för jämviktsfuktkurvor som använts i Torka S.



Figur 2.9, Jämviktsfuktkurvor för cementpastor med olika VCT, källa: [13].

- C) Fukttransportegenskaperna, som är beroende av RF, VCT, temperatur- och hydratationsgrad är en viktig parameter i modellering av betongens uttorkning. Denna parameter är grundad på fukttransportegenskaperna hämtade ifrån Hedenblad 1993 (refererad i [14]). Dessa egenskaper är framtagna för flera år gamla välhydratiserade betong av olika kvaliteter men Fuktcentrum [14] hävdar att de kan räknas om till nygjuten betong.
- D) Kemiskt bundet vatten, som är hydratationsgradsberoende, det vill säga beroende av andelen hydratiserad cement.
- E) Fuktflöde till och från cellen under tidssteget.
- F) Inverkan av alkali på RF och därmed på jämviktsfuktkurvan.

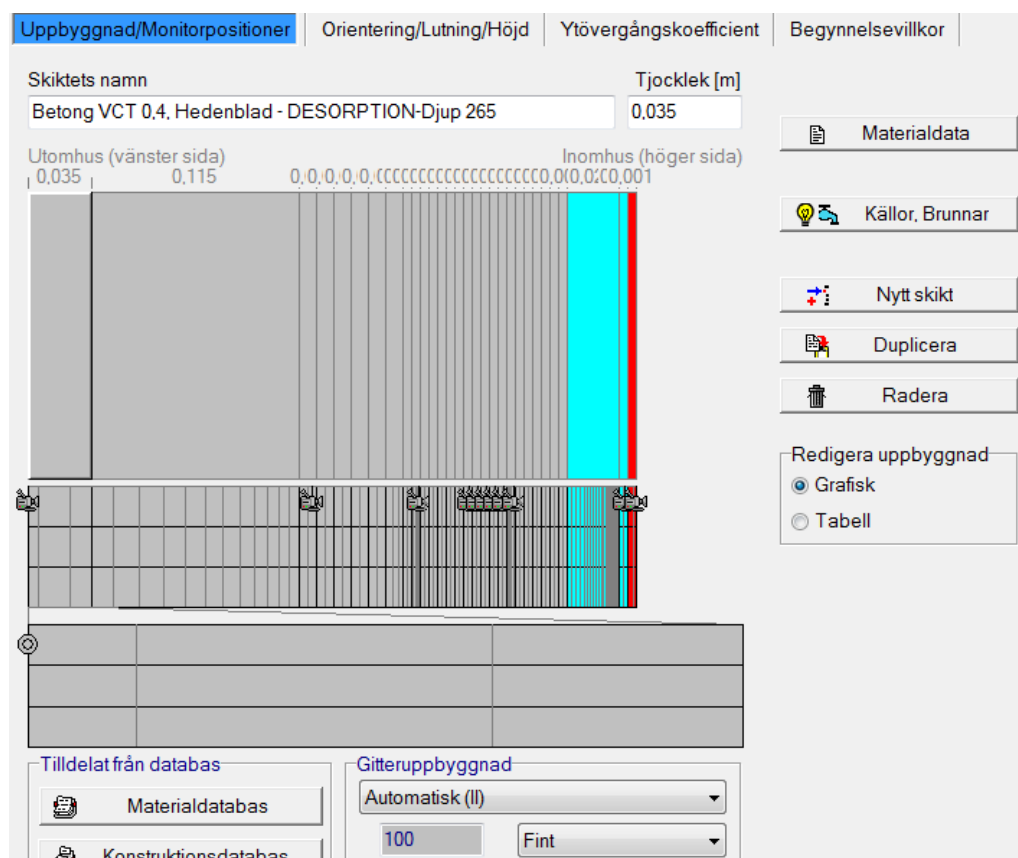
2.3.2 WUFI Pro 6.5

WUFI, som står för “Wärme Und Feuchte Instationär” (“värme och fukt icke-stationär” på svenska) är ett fukt- och värmeberäkningsprogram utvecklat i Tyskland som får allt fler användare i Sverige [12]. Detta program i versionen Pro 6.5 har använts för beräkningar i detta arbete, främst för att det är ett vedertaget beräkningsprogram bland Sveriges fuktkonsulter och används av Polygon|AK. För att beräkningarna i WUFI ska vara så bra som möjligt krävs det att användaren har hög kunskap om programmets uppbyggnad, byggnadsfysik och de olika parametrarna som lägger grunden till utdatan. De viktiga parametrarna som berör detta arbete förklaras enligt följande:

Konstruktionens uppbyggnad

I ett första steg bygger användaren sin tänkta konstruktion genom att ange tjocklek och välja material för olika skikt. Varje skikt delas i sin tur upp i olika celler. WUFI beräknar fukthalten genom att jämföra fuktflödena till och från celler. Cellstorleken kan väljas till grov, medel, fin och användardefinierad. I varje cell kan en monitor placeras för att se fuktinnehållet och temperaturen i det önskade djupet. Man kan även ange värmekälla, fuktkälla eller källa för luftomsättning i olika skikt, se figur 2.4.

WUFI har olika materialdatabaser som är framtagna av olika institutioner. Den största materialdatabasen är framtagen av Fraunhofer-IBP som är provade i deras laboratorium. Den svenska materialdatabasen som är tillgänglig under benämningen Lunds tekniska högskola, grundar sig i uppgifter från Materialdata för fukttransportberäkningar av Byggeforskningsrådet. Denna databas saknar uppgifter om väsketransportkoefficienter.



Figur 2.4, Uppbyggnad av basmodell i WUFI Pro 6.5.

Materialdata

Materialdatan delas upp i två delar. Först i grundläggande materialdata, som krävs för att fukt- och värmeberäkningar ska kunna utföras, och sedan i hygrotermiska funktioner som behövs ifall simuleringarna ska vara mer ingående och korrekta [15]. Det finns möjlighet att bygga egna material genom att kopiera och justera olika materialdata.

Fuktlagringsfunktion

I programmet beskrivs fuktlagringsfunktionen med hjälp av en tabell som innehåller relativ fuktighet och motsvarande fukttinnehåll. Tabellen kan innehålla ett godtyckligt antal punkter mellan vilka WUFI interpolerar linjärt. Temperaturens påverkan på fuktlagringsfunktionen är marginell och ignoreras därför i programmet [15].

Under simuleringen utför WUFI upprepade beräkningar där programmet provtar små delar i tabellkurvan för att räkna fram RF. Mycket skarpa böjningar i kurvan kan ge en avvikelse från de samlade upprepade beräkningarna och därmed hindra dess konvergens, vilket i sin tur leder till RF som avviker från verkligheten. I ett sådant fall bör kurvan jämnas ut genom att infoga ytterligare punkter. Ett stort antal punkter kan dock sakta ner sökningen i tabellen [15]. Vid avsaknad av tillräckligt data approximerar WUFI fuktinnehållet med hjälp av

$$W_{\varphi} = W_f \frac{(b - 1) \cdot \varphi}{b - \varphi} \quad (2.10)$$

där

- W_{φ} [kg/m²] är fuktinnehåll vid RF φ ;
- W_f [kg/m²] är fri vattenmättnad;
- Φ (0-1) är relativ fuktighet;
- b (0-1) är approximationsfaktor.

Vätsketransportkoefficient "suction" & omfördelning

Vätsketransportkoefficienten betecknas D_{ws} och beskriver fukttransport i ett givet material, där suction anger den kapillära transporten dominerad av de större porerna. I byggnadsfysiksammanhang beskriver detta regn på fasad. Vätsketransportkoefficienten för omfördelning som betecknas D_{ww} beskriver hur det upptagna vattnet sprider sig i ett material, inget nytt vatten upptas och vattnet omfördelas. Denna omfördelning är dominerad av de små porerna [15].

Eftersom omfördelning är en mycket långsammare process i de små porerna brukar vätsketransportkoefficienten för omfördelning vara lägre än suction. I många fall kan en ökning hos D_{ws} och vatteninnehållet beskrivas med en approximation av en exponentialfunktion för de flesta byggnadsmaterial. Sambandet ges i ekvation 2.11.

Vätsketransportkoefficient "suction" & omfördelning

Vätsketransportkoefficienten betecknas D_{ws} och beskriver fukttransport i ett givet material, där suction anger den kapillära transporten dominerad av de större porerna. I byggnadsfysiksammanhang beskriver detta regn på fasad. Vätsketransportkoefficienten för omfördelning som betecknas D_{ww} beskriver hur det upptagna vattnet sprider sig i ett material, inget nytt vatten upptas och vattnet omfördelas. Denna omfördelning är dominerad av de små porerna [15]. För detta arbete är denna parameter inaktiv för betong och avjämning [4].

Eftersom omfördelning är en mycket långsammare process i de små porerna brukar väsketransportkoefficienten för omfördelning vara lägre än suction. I många fall kan en ökning hos D_{ws} och vatteninnehållet beskrivas med en approximation av en exponentialfunktion för de flesta byggnadsmaterial. Sambandet ges av

$$D_{ws}(W) = 3,8 \cdot \left(\frac{A}{W_f}\right)^2 \cdot 1000^{\frac{W}{W_f}-1} \quad (2.11)$$

där

D_{ws} [m^2/s] är fukttransportkoefficient för suction;

A [$kg/m^2\sqrt{s}$] är vattenabsorptionskoefficient;

W [kg/m^2] är fukttinnehåll;

W_f [kg/m^2] är fri vattenmättnad.

Diffusionsmotstånd för vattenånga, fuktberoende

Diffusionsmotståndet beskriver materialets täthet i förhållande till samma dimension av luft och betecknas med μ , detta är då motsatsen till ångpermeabilitet [11]. Enligt [15] finns det få material som uppvisar fuktberoende μ -värde. Polymerfilmer och beläggningar (till exempel "smarta" ångskydd) är exempel på dessa.

Värmeledningsförmåga, fuktberoende

Fuktberoende värmeledningsförmåga beskriver ett materials ökade värmeledningsförmåga i takt med ökad relativ fuktighet, detta för att vatten leder värme bättre än de flesta byggnadsmaterial och den rena värmeledningsförmågan ökar nära linjärt med fukthalten [15]. Detta värde genereras i WUFI med

$$\lambda_f = \lambda_t \left(1 + b \cdot \frac{w}{p_s}\right) \quad (2.12)$$

där

λ_f [W/mK] är värmeledningsförmåga för fuktigt material;

λ_t [W/mK] är värmeledningsförmåga för torrt material;

b [%/M.-%] är tillskott av fuktberoende värmeledningsförmåga;

w [kg/m^3] är vatteninnehåll;

p_s [kg/m^3] är torra materialets skrymdensitet.

Värmeledningsförmåga, temperaturberoende

Den temperaturberoende värmeledningsförmågan är en annan parameter i den hygrotermiska funktionen som bör beaktas vid beräkning. Värmeledningsförmågan mellan två kända punkter interpoleras linjärt av WUFI vilket ges av

$$\lambda_{\theta} = \lambda_{10} + a \cdot (\theta - 10) \quad (2.13)$$

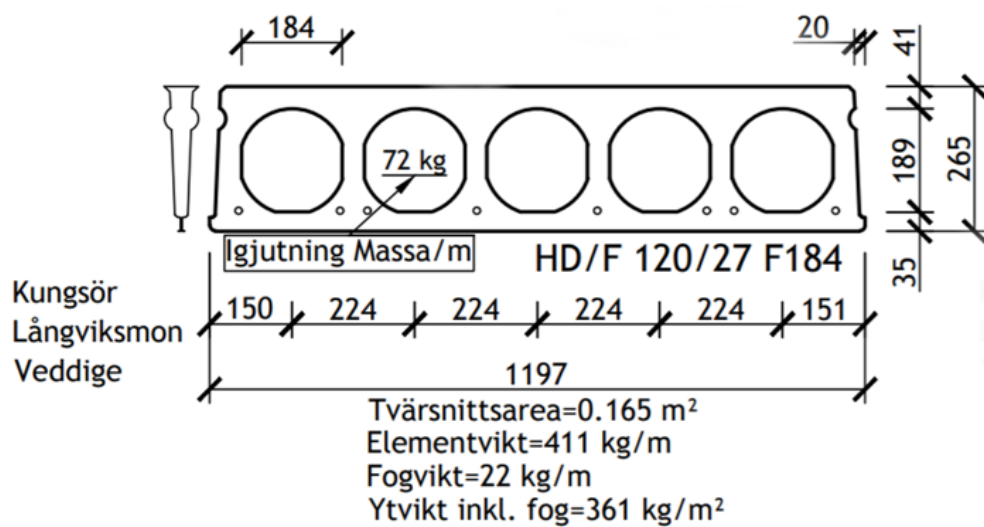
där

- λ_{θ} [W/mK] är materialets värmeledningsförmåga vid temperatur θ ;
- λ_{10} [W/mK] är materialets värmeledningsförmåga vid 10 °C;
- a [W/mK²] är tillskott av temperaturberoende värmeledningsförmåga;
- θ [°C] är omgivande temperatur.

3. UTFÖRANDE AV BERÄKNINGAR

3.1 Indata för beräkningar

För att beräkna det ekvivalenta mätdjupet antas en endimensionell modell baserat på ett uttorkningsfall av fogen mellan två HD/F-element, med varierande parametrar i form av RF i avjämningsmassa, tjocklek för avjämningsmassa och ånggenomgångsmotstånd för ovanliggande plastmatta. Mått på elementtvärsnittet som har använts i detta arbete har hämtats från Strängbetongs hemsida (2021), se figur 3.1.

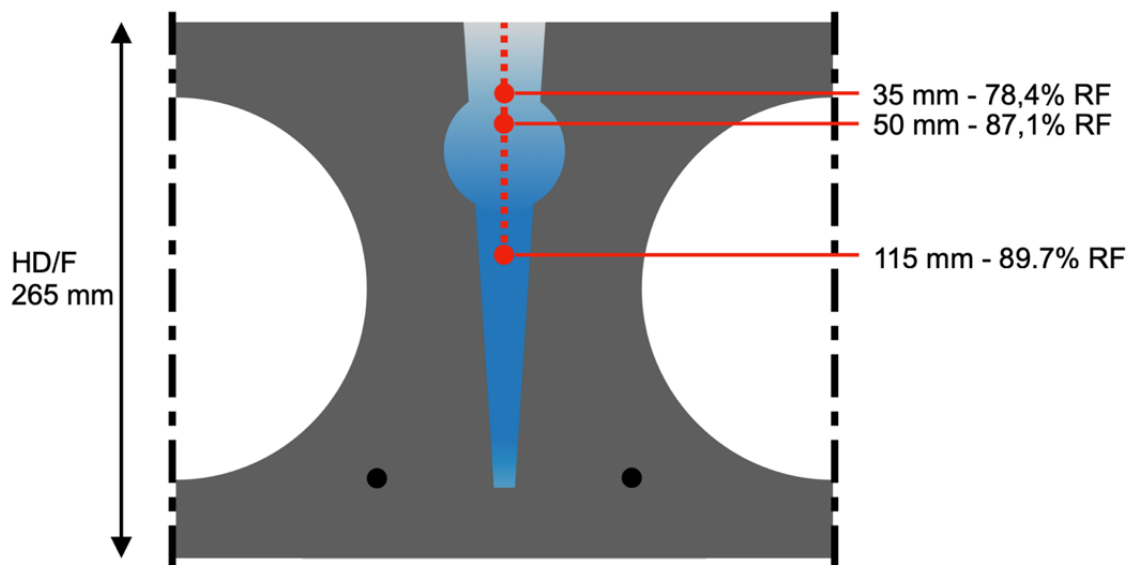


Figur 3.1, Mått på håldäcksplattor, källa: [16].

Från Polygon|AK i Uppsala har författarna av detta arbete erhållit mätvärden i form av RF för tre olika djup i ett verkligt projekt. Det är dessa mätvärden som ligger till grund för beräkningar av begynnelsevillkor i WUFI och Torka S, se tabell 3.1 & figur 3.2.

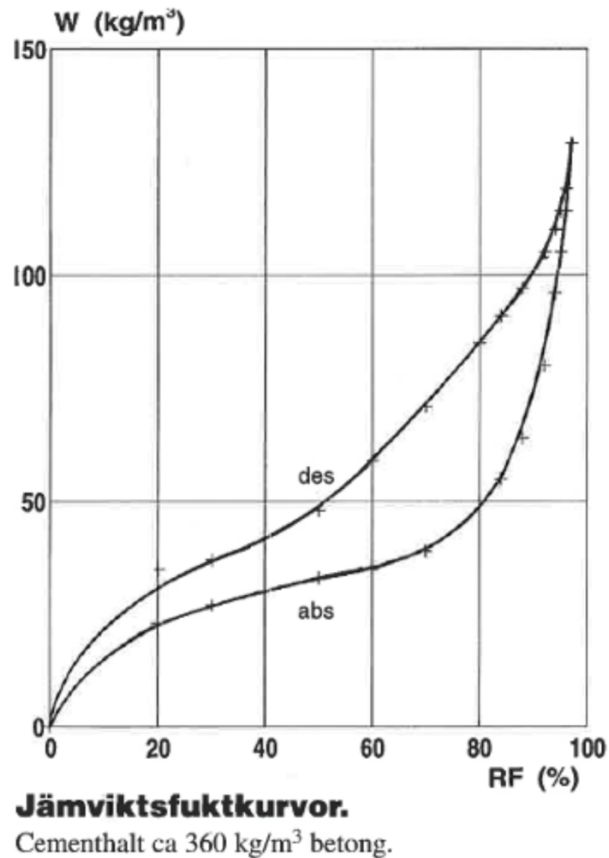
Tabell 3.1, Mätvärden från fält, inklusive mätosäkerhet.

Borrdjup (mm)	RF (%)
35	78,4
50	87,1
115	89,7



Figur 3.2, Illustration av mätpunkter i fogbetongen.

Utöver standardmaterialdatan i WUFI har materialdata för specifika material erhållits av Polygon|AK. Denna materialdata består av Hedenblads absorption- och desorptionskurva, se figur 3.3, avjämningsmassor med olika RF, mattor med olika ånggenomgångsmotstånd, se tabell 3.2. Detta i syfte att försöka använda materialdata med högre noggrannhet och som är mest lämpliga för de nya förutsättningarna idag. Dessa utförda beräkningar gäller förutsättningarna välhydratiserad betong, VCT 0,4, och normaltorkande avjämningsmassa.



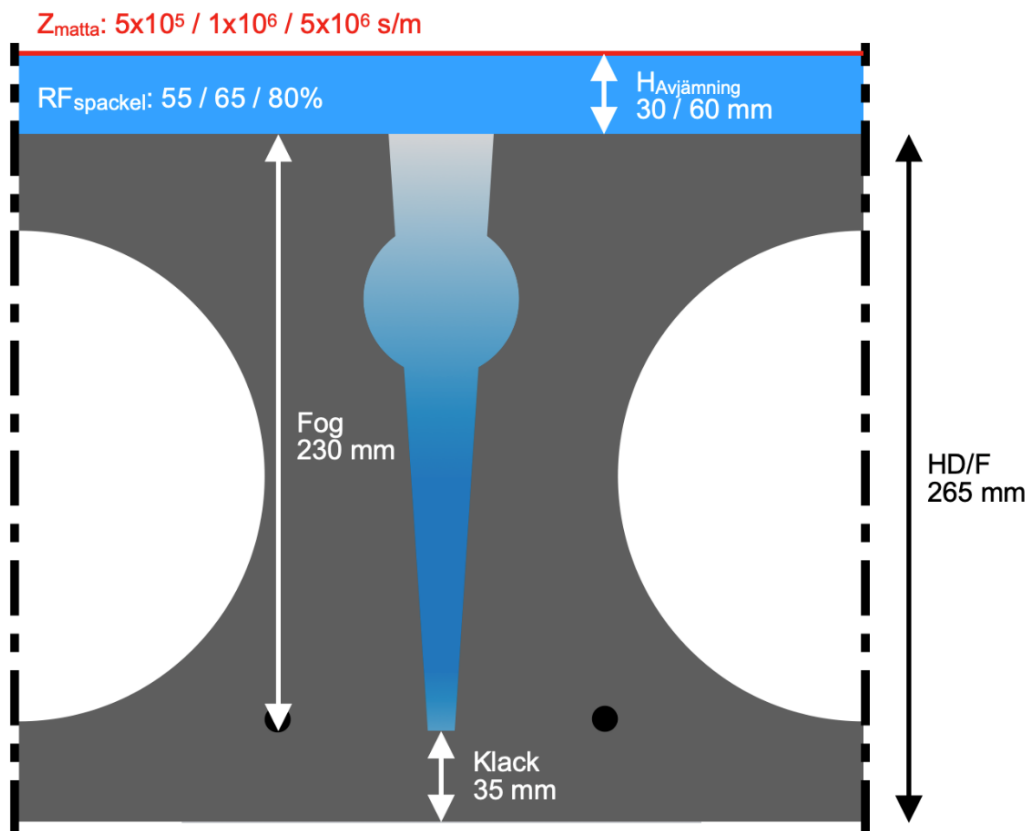
Figur 3.3, Hedenblads absorption-desorptionskurva för betong VCT 0,4.

Ingångsvärden i tabell 3.2 är tillhandahållna från Polygon|AK i Uppsala och är delvis baserade på verkliga fall, där 55,5 % RF i avjämningsmassan är bland de lägre fukttillstånden som vanligtvis uppmäts och 80 % RF är bland de högre som uppmäts. Likaså motsvarar täthet 500 000 s/m en förhållandevis otät matta och täthet 5 000 000 s/m en förhållandevis tät matta.

Tabell 3.2, Lista över materialdata erhållna från Polygon|AK.

Materialnamn	RF %	Täthet (s/m)
Avjämningsmassa	55,5	-
Avjämningsmassa	65	-
Avjämningsmassa	80	-
Plastmatta	-	500 000
Plastmatta	-	1 000 000
Plastmatta	-	5 000 000

En illustration av förutsättningarna för påverkande parametrar i den antagna modellen redogörs i figur 3.4.



Figur 3.4, Parametrar för beräkningsmodell.

3.2 Beräkningar i Torka S 3.2

I ett första steg i detta arbete har uttorkningen av ett elementtvärsnitt beräknats i Torka S 3.2. Indatan till Torka S redovisas i följande tabell 3.3.

Tabell 3.3, Indata till simulering av uttorkning i Torka S 3.2.

Förutsättningar	Indata
Konstruktion	Mellanbjälklag (avsedd för enkelsidig uttorkning)
Betongtjocklek	22 cm
Bärlagstjocklek	5 cm
VCT	0,4
Vattenhalt	180 l/m ³
Cementhalt	450 kg/m ³
Gjutning	2020-08-18
Tätt hus	2021-02-17
Styrd torkning	2021-03-17
Slut	2021-08-18
Ort	Stockholm

I ett nästa steg efter utförd simulering i Torka S hämtas resultaten i rapportform eller i form av tabeller i vilka RF-fördelningen i olika djup redovisas. Dessa genererade RF i olika djup tillsammans med mätpunkterna från fält lägger grunden för framtagandet av tre olika fuktprofiler. För beräkningsmetodik av fuktprofilerna hänvisas läsaren till nästa avsnitt. För fullständig redovisning av resultat, se avsnitt 3.4.1.

Framtagning av fuktprofiler

För att erhålla värden för relativ fuktighet på mätdjup utöver de tre som är konstaterade från mätning i fält har tre anpassade kurvor skapats. Dessa anpassade kurvor har skapats med hjälp av en kombination av värden från mätningar i fält och den genererade kurvan från Torka S. För att ta fram RF-värden (y-axeln) på den nya kurvan har formeln för räta linjens ekvation använts, se ekvation 3.1, där lutningen k från motsvarande punkter i Torka S har applicerats i den anpassade kurvan. Dessa beräkningar gäller för mätdjup (x-axeln) 35 till 115 mm.

$$y = kx + m \quad k = \frac{\Delta y}{\Delta x} \quad (3.1)$$

där

m [mm] är begynnelsevärdet.

För övriga mätdjup i intervallen 0-35 och 115-230 mm antas RF följa linjär utveckling och har interpolerats fram med

$$y_3 = \frac{y_1(x_2 - x_3) + y_2(x_3 - x_1)}{x_2 - x_1} \quad (3.2)$$

Resultatet blir tre anpassade kurvor som liknar den som genereras i Torka S, men samtidigt tar hänsyn till kända mätvärden från fält. Dessa värden på RF tillsammans med Hedenblads jämviktsfuktkurvor har i ett nästa steg använts för att ta fram vatteninnehållet i olika skikt, för resultat hänvisas läsaren till avsnitt 3.4.1.

3.3 Beräkningar i WUFI pro 6.5

I WUFI konstrueras en basmodell bestående av betong, avjämningsmassa och plastmatta med underliggande mattlim. För att kunna se fukttillståndet i olika delar av tvärsektionen före, under och efter fuktomfördelning delas byggnadsdelarna upp i olika skikt. Monitorer placeras i djupen 35-40, 50, 115 och i limskiktet. Basmodellen som används i WUFI baseras på fogen i en 265 mm tjock HD/F-platta med 30 mm överliggande avjämningsmassa och ovanliggande plastmatta med täthet 500 000 s/m. Tvärsnittet delas upp i 30 skikt, se tabell 3.4

Tabell 3.4, Uppbyggnad av basfall (fall ett) i WUFI.

Nummer	Skikt	Tjocklek (m)
1	Plastmatta Z:500 000 s/m	0,001
2	Avjämningsmassa 55,5 %	0,001
3	Avjämningsmassa 55,5 %	0,029
4	Betong VCT 0,4, hedenblad-Absorption	0,005
5	Betong VCT 0,4, hedenblad-Absorption	0,005
6	Betong VCT 0,4, hedenblad-Absorption	0,005
7	Betong VCT 0,4, hedenblad-Absorption	0,005
8	Betong VCT 0,4, hedenblad-Absorption	0,005
9	Betong VCT 0,4, hedenblad-Absorption	0,005
10	Betong VCT 0,4, hedenblad-Absorption	0,005
11	Betong VCT 0,4, hedenblad-Absorption	0,001
12	Betong VCT 0,4, hedenblad-Absorption	0,001
13	Betong VCT 0,4, hedenblad-Absorption	0,001
14	Betong VCT 0,4, hedenblad-Desorption	0,001
15	Betong VCT 0,4, hedenblad-Desorption	0,001
16	Betong VCT 0,4, hedenblad-Desorption	0,001
17	Betong VCT 0,4, hedenblad-Desorption	0,001
18	Betong VCT 0,4, hedenblad-Desorption	0,001
19	Betong VCT 0,4, hedenblad-Desorption	0,001
20	Betong VCT 0,4, hedenblad-Desorption	0,001
21	Betong VCT 0,4, hedenblad-Desorption	0,005
22	Betong VCT 0,4, hedenblad-Desorption	0,005
23	Betong VCT 0,4, hedenblad-Desorption	0,01
24	Betong VCT 0,4, hedenblad-Desorption	0,01
25	Betong VCT 0,4, hedenblad-Desorption	0,01
26	Betong VCT 0,4, hedenblad-Desorption	0,01
27	Betong VCT 0,4, hedenblad-Desorption	0,01
28	Betong VCT 0,4, hedenblad-Desorption	0,01
29	Betong VCT 0,4, hedenblad-Desorption	0,115
30	Betong VCT 0,4, hedenblad-Desorption-Avser klacken	0,035

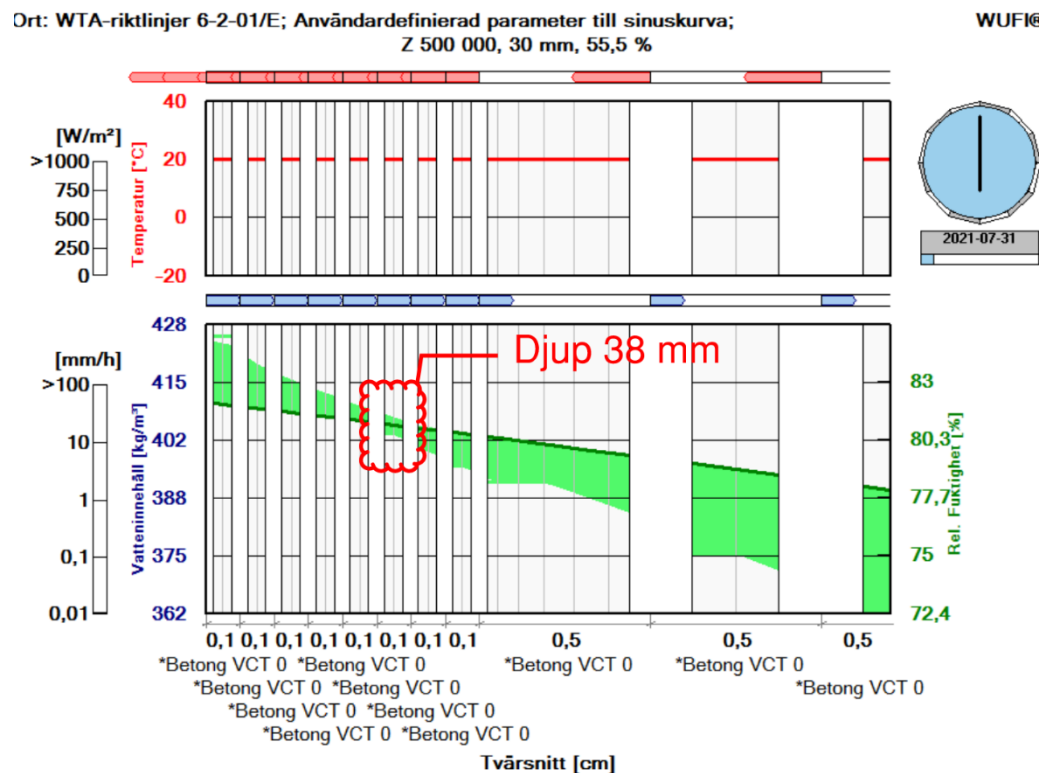
I detta arbete har flera fall beräknats och studerats. De parametrarna som skiljer sig i de resterande 17 fallen är plastmattans täthet, tjocklek på avjämningsmassa och RF i avjämningsmassa, se tabell 3.5.

Tabell 3.5, Redovisning av de 18 olika fallen.

Fall	Täthet i plastmatta (s/m)	Tjocklek på avjämnning (mm)	RF i avjämnning (%)
1 (basfall)	500 000	30	55,5
2	500 000	30	65
3	500 000	30	80
4	500 000	60	55,5
5	500 000	60	65
6	500 000	60	80
7	1 000 000	30	55,5
8	1 000 000	30	65
9	1 000 000	30	80
10	1 000 000	60	55,5
11	1 000 000	60	65
12	1 000 000	60	80
13	5 000 000	30	55,5
14	5 000 000	30	65
15	5 000 000	30	80
16	5 000 000	60	55,5
17	5 000 000	60	65
18	5 000 000	60	80

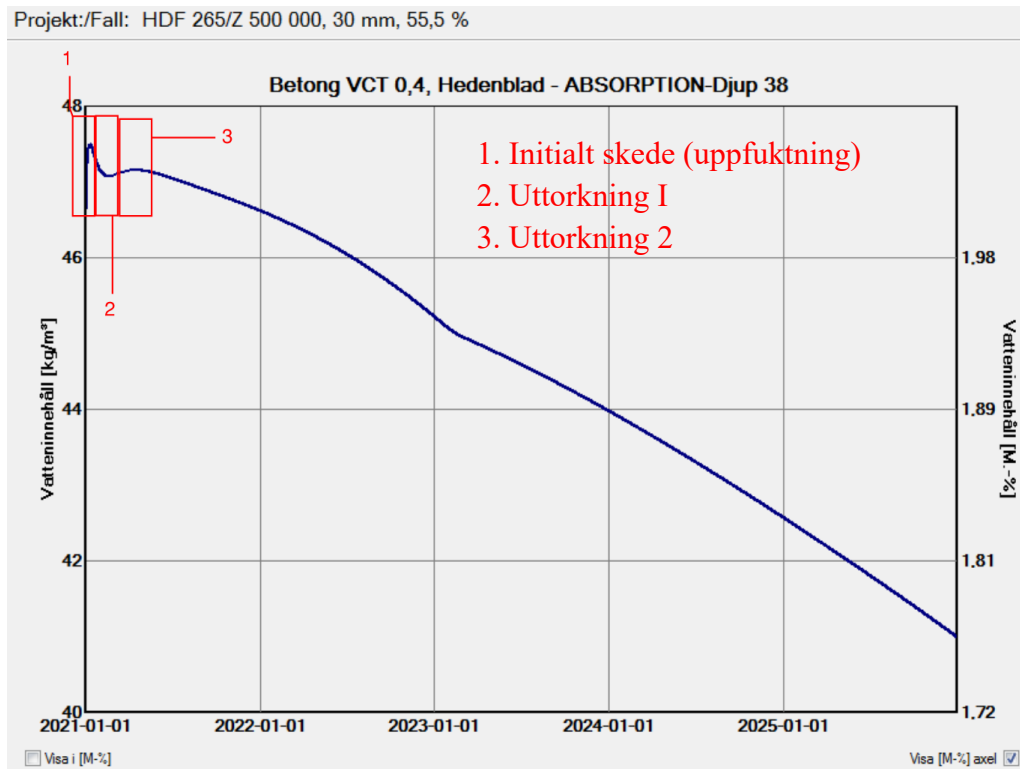
Begynnelsevillkor

I ett nästa steg har vatteninnehåll för de indelade skikten beräknats, för resultat hänvisas läsaren till avsnitt 3.4.1. För att se vilken av jämviktsfuktkurvorna som respektive skikt följer har författarna av detta arbete undersökt brytpunkten, som innebär i vilket djup eller vilket skikt uttorkning övergår till uppfuktning. Detta kunde konstateras i djupet 38 mm med hjälp av undersökning i filmvisningen och vatteninnehållet, se figurer 3.1 och 3.2.



Figur 3.1, Filmvisning av djup 38 mm.

De gröna skuggmarkerade områden i djup 38 mm, till skillnad från sina närliggande skikt är både över och under strecket vilket tyder på en uppfuktning och uttorkning i ett och samma skikt.



Figur 3.2, Redovisning av vatteninnehåll i djup 38 mm.

Vid en närmare titt på vatteninnehållet i detta djup ser vi initialt en uppfuktning i det första området, för att sedan i det andra området se en liten uttorkning. Det tredje området uppvisar en liten uppfuktning innan den stora uttorkningen.

Efter avslutad simulering av samtliga 18 fall i WUFI hämtas utdatan i ASCII-format i ett förlopp och i en profil. Detta ASCII-format omvandlas sedan till siffror i ett Excelark erhållet av Polygon|AK, som underlättar redovisningen av utdatan. Det valda förloppet i limskiktets djup redovisar RF över tiden i valt skikt. Profilen visar fuktfördelningen i olika djup.

Framtagning av ekvivalent mätdjup

För att ta fram det ekvivalenta mätdjupet för olika fall söks först en maximal RF i tidsintervallet 300-43802 h, eller 12,5 dygn till 5 år. I detta tidsintervall ignoreras de första 300 timmarna för att den initiala uppfuktningen där till större delen beror på fukttinnehåll i avjämningsmassa och mattlim. I ett nästa steg söks det djup som uppnår maximal RF. Detta görs i profilen då den visar fuktfördelningen över olika djup. För resultat hänvisas läsaren till avsnitt 3.4.2.

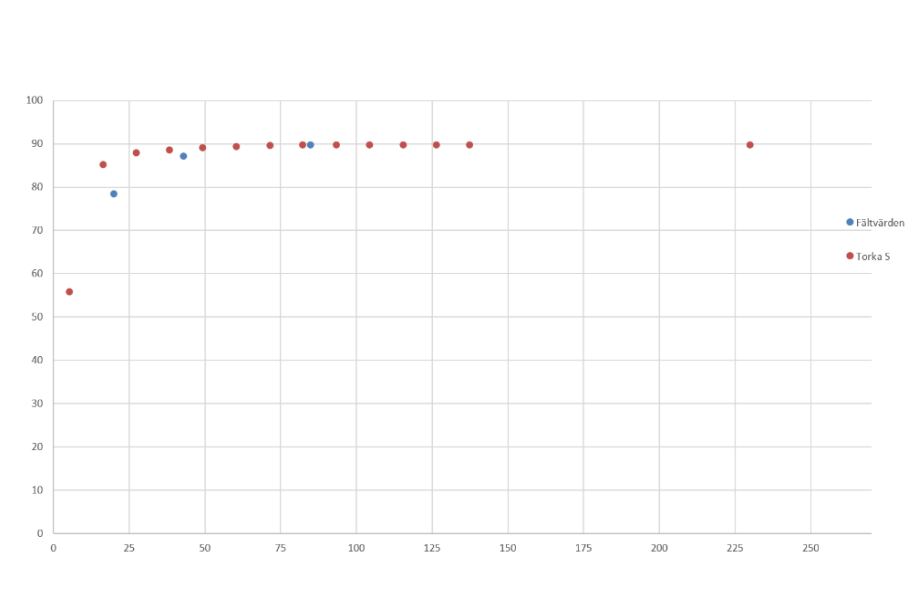
3.4 Resultat

3.4.1 Torka S och fuktprofiler

Efter utförd simulering av uttorkning i Torka S hämtas utdatan i form av en rapport och en text-fil, där RF-fördelningen i olika djup över tid redovisas. Detta redovisas i form av en tabell och diagram där RF är punktmarkerade, se figur 3.4 med tillhörande tabell 3.6. För redovisning av rapporten från Torka S, se bilaga A.

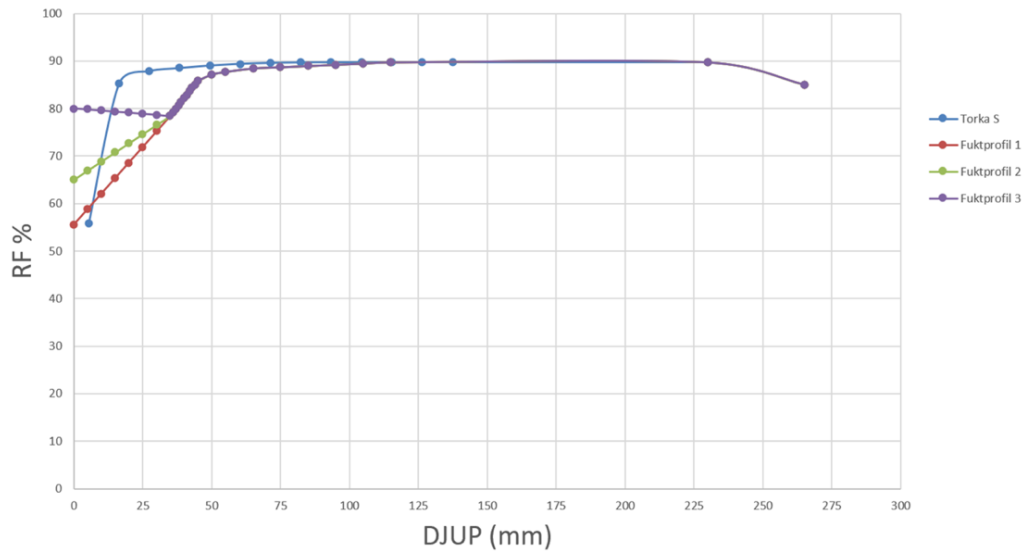
Tabell 3.6, RF-fördelning över olika djup i Torka S.

Djup (mm)	Torka S
5,4	55,7826
16,4	85,1946
27,4	87,8156
38,4	88,4626
49,4	89,0046
60,4	89,3646
71,5	89,5596
82,4	89,6526
93,5	89,6866
104,4	89,6946
115,5	89,6956
126,4	89,6956
137,5	89,6956
230	89,7000



Figur 3.4, RF-fördelning över olika djup i Torka S.

De framtagna fuktprofilerna redovisas i figur 3.5, där den blå linjen redovisar fuktprofilen från Torka S, den röda linjen redovisar fuktprofilen för 55,5 % RF i avjämningsmassan, den gröna linjen redovisar fuktprofilen för 65 % RF i avjämningsmassan, och den lila linjen redovisar fuktprofilen för 80 % RF i avjämningsmassan. Vatteninnehåll och RF för respektive djup redovisas i tabell 3.7.



Figur 3.5, Redovisning av samtliga fuktprofiler och kurva från Torka S.

Tabell 3.7, Redovisning av vatteninnehåll och RF i olika djup, där "A" anger absorption och "D" anger desorption.

	Fuktprofil 1		Fuktprofil 2		Fuktprofil 3	
Djup (mm)	RF (%)	W (kg/m ³)	RF (%)	W (kg/m ³)	RF (%)	W (kg/m ³)
A 0	55,5	12,96	65	16,93	80	29,05
A 5	58.77	31.07	66,91	33,92	79,77	44,77
A 10	62.04	32.21	68,83	34,59	79,54	44,54
A 15	65.31	33.36	70,74	35,74	79,31	44,31
A 20	68.59	34.51	72,66	37,66	79,09	44,09
A 25	71.86	36.86	74,57	39,57	78,86	43,86
A 30	75.13	40.13	76,49	41,49	78,63	43,63
A 35	78.4	43.4	74,8	43,4	78.4	43,4
A 36	79.14	44.14	79.14	44.14	79.14	44.14
A 37	79.87	44.87	79.87	44.87	79.87	44.87
A 38	80.61	46.22	80.61	46.22	80.61	46.22
D 39	81.35	82.03	81.35	82.03	81.35	82.03
D 40	82.08	83.12	82.08	83.12	82.08	83.12
D 41	82.82	84.23	82.82	84.23	82.82	84.23
D 42	83.55	85.33	83.55	85.33	83.55	85.33
D 43	84.29	86.44	84.29	86.44	84.29	86.44
D 44	85.03	87.55	85.03	87.55	85.03	87.55
D 45	85.76	88.64	85.76	88.64	85.76	88.64
D 50	87.1	90.65	87.1	90.65	87.1	90.65
D 55	87.67	91.51	87.67	91.51	87.67	91.51
D 65	88.41	92.62	88.41	92.62	88.41	92.62
D 75	88.67	93.01	88.67	93.01	88.67	93.01
D 85	88.93	93.36	88.93	93.36	88.93	93.36
D 95	89.18	93.77	89.18	93.77	89.18	93.77
D 105	89.44	94.16	89.44	94.16	89.44	94.16
D 115	89.7	94.55	89.7	94.55	89.7	94.55
D 230	89.7	94.55	89.7	94.55	89.7	94.55
D 265	85	87.5	85	87.5	85	87.5

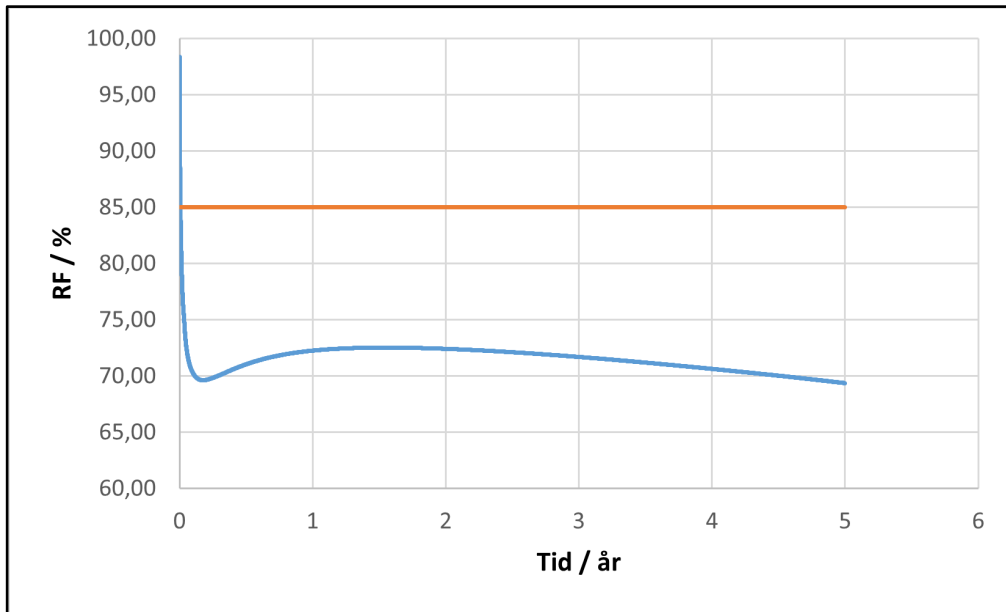
3.4.2 RF_{max} och ekvivalent mätdjup

I detta avsnitt redovisas RF_{max} och beräknade ekvivalenta mätdjup för samtliga 18 fall, se tabell 3.8. Även RF-fördelningen i form av diagram redovisas för enstaka fall i figur 3.6 till 3.11. För samtliga diagram hänvisas läsaren till bilaga B.

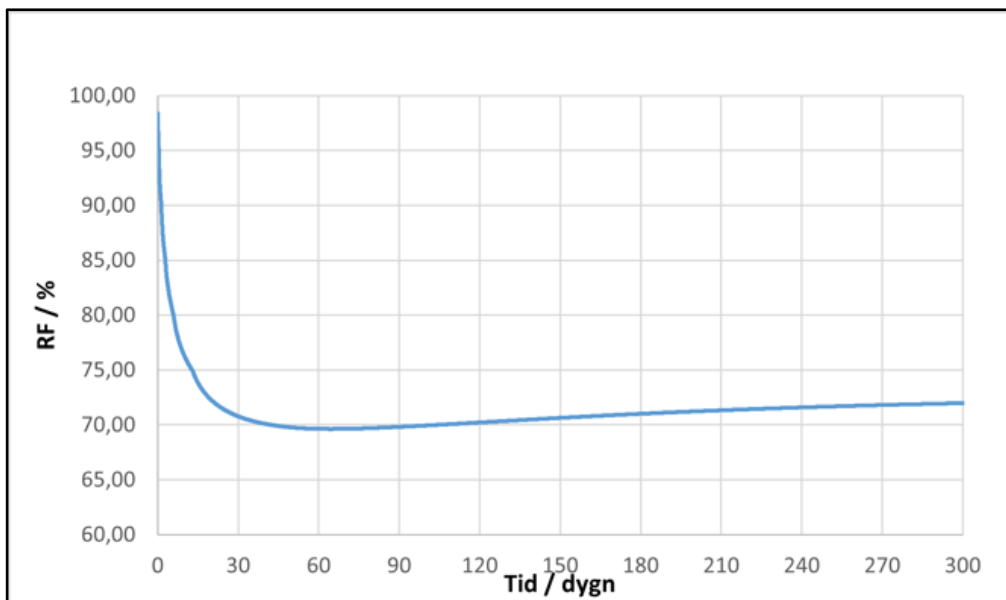
Tabell 3.8, Redovisning av samtliga fall med RF_{max} och beräknade ekvivalent mätdjup (Ekv).

Fall	$RF_{avjämning}$ (%)	Z_{matta} (s/m)	$T_{avjämning}$ (mm)	RF_{max} (%)	Ekv (mm)	Ekv (%)
1	55,5	500 000	30	75,16	29	12,6
2	65,0	500 000	30	80,91	38	16,5
3	80,0	500 000	30	86,98	45	19,6
4	55,5	500 000	60	75,00	26	11,3
5	65,0	500 000	60	81,04	38	16,5
6	80,0	500 000	60	87,15	49	21,3
7	55,5	1 000 000	30	76,81	30	13,0
8	65,0	1 000 000	30	81,70	39	17,0
9	80,0	1 000 000	30	87,61	51	22,2
10	55,5	1 000 000	60	75,82	30	13,0
11	65,0	1 000 000	60	81,82	39	17,0
12	80,0	1 000 000	60	87,78	55	23,9
13	55,5	5 000 000	30	81,50	39	17,0
14	65,0	5 000 000	30	82,34	40	17,4
15	80,0	5 000 000	30	88,12	56	24,3
16	55,5	5 000 000	60	80,51	37	16,1
17	65,0	5 000 000	60	82,46	40	17,4
18	80,0	5 000 000	60	88,29	57	24,8

I fall ett överstiger inte $RF_{\max}$ 85 %, förutom under en kortare period i början. I figurena med RF-fördelningen över fem år är kritisk RF 85 % markerat med orange linje, se figur 3.6, 3.8 och 3.10. Se mer detaljerad redovisning i figur 3.7, 3.9 och 3.11 med RF-fördelning över 300 dygn.

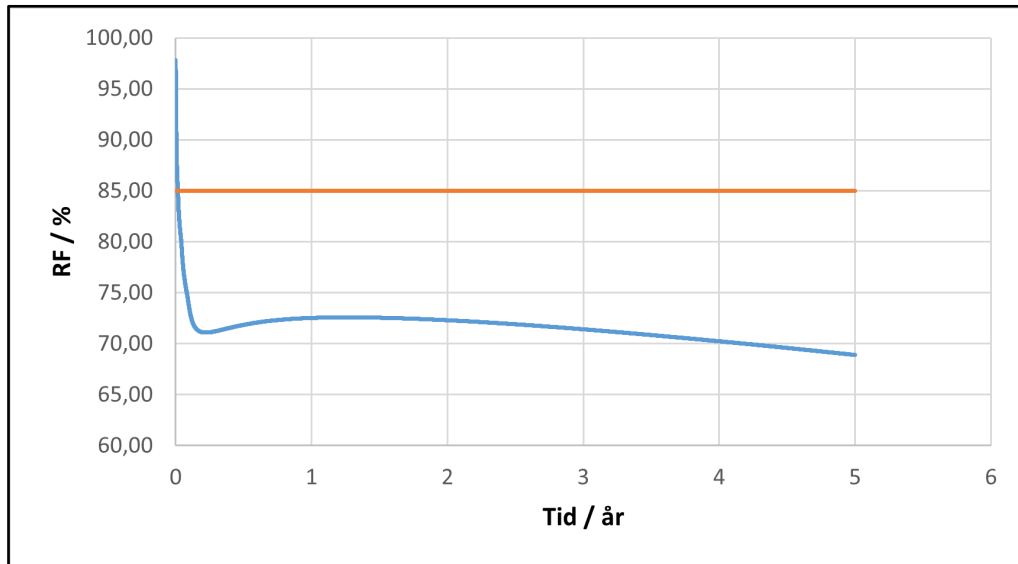


Figur 3.6, RF-fördelningen över fem år, fall ett.

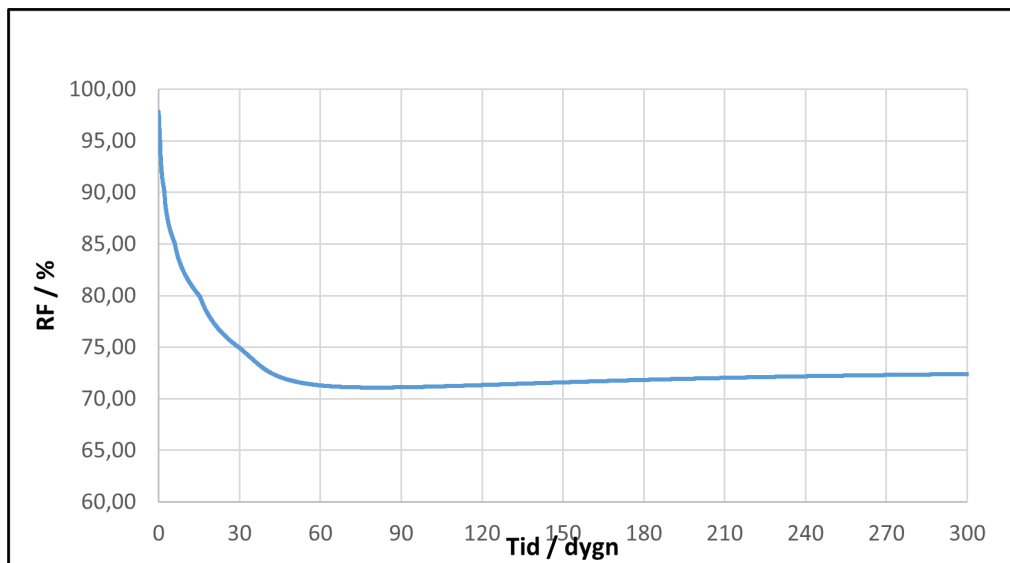


Figur 3.7, RF-fördelningen över 300 dygn, fall ett.

I fall två överstiger inte $RF_{\max}$ 85 % under de första fem åren förutom under en kortare period i början, se figur 3.8 och 3.9. Dock är $RF_{\max}$ här något högre, för mer specifika värden se tabell 3.8.

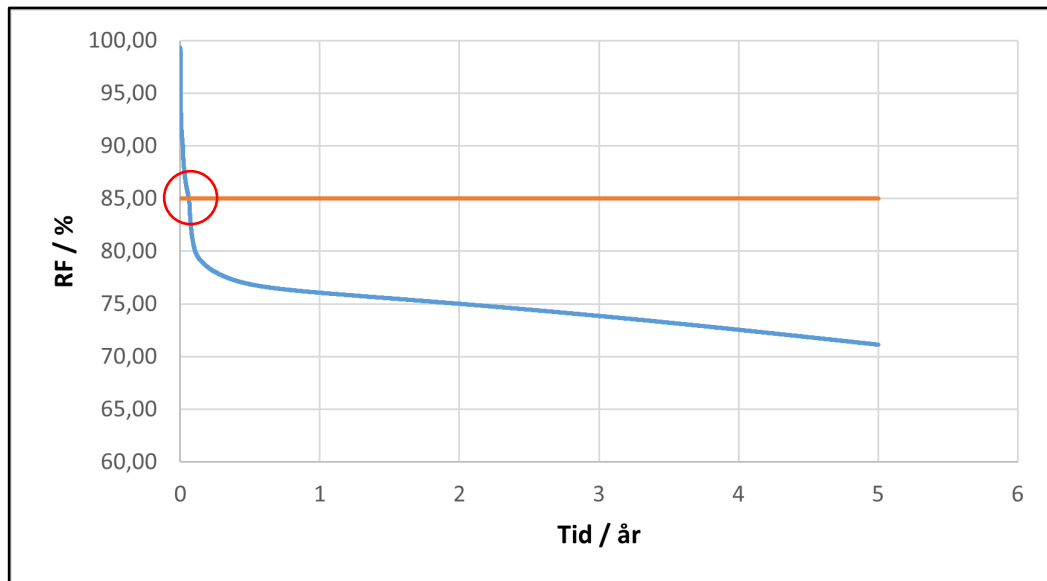


Figur 3.8, RF fördelningen över fem år, fall två.

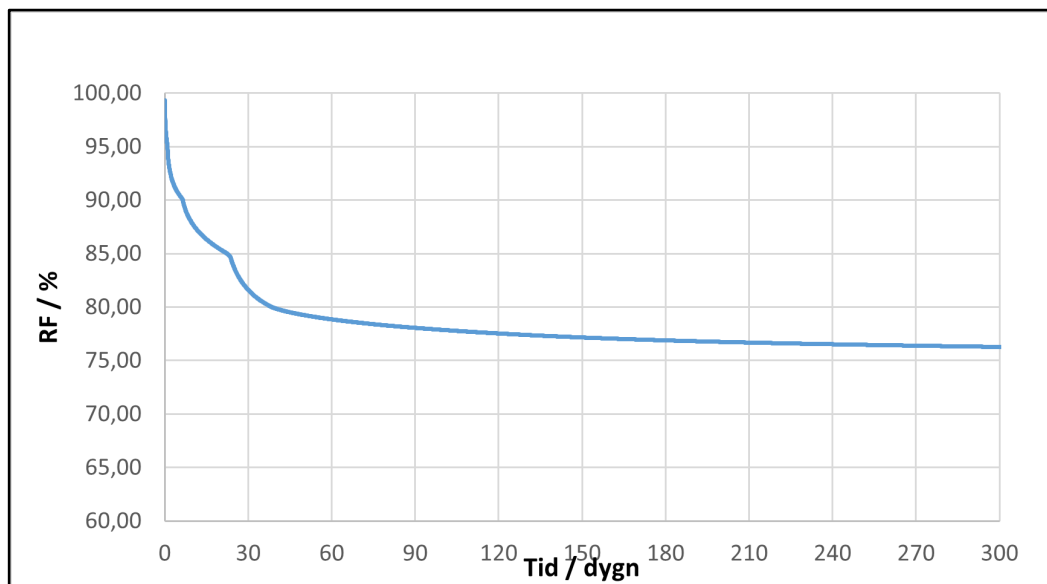


Figur 3.9, RF fördelningen över 300 dygn, fall två.

I fall tre överstiger $RF_{\max}$ 85 % något under de första fem åren, se figur 3.10 med markerat område samt figur 3.11. För mer specifika värden, se tabell 3.8.



Figur 3.10, RF-fördelningen över fem år, fall tre.



Figur 3.11, RF-fördelningen över 300 dygn, fall tre.

4. ANALYS OCH DISKUSSION

4.1 Analys av fuktprofiler

Skillnaden mellan fuktprofilerna och Torka S-kurvan kan förklaras med att Torka S inte tar hänsyn till det ovanliggande avjämningsmassan på betongen. RF i avjämnningen gör att betongen blir blötare och inte torkar lika mycket som i Torka S-beräkningen.

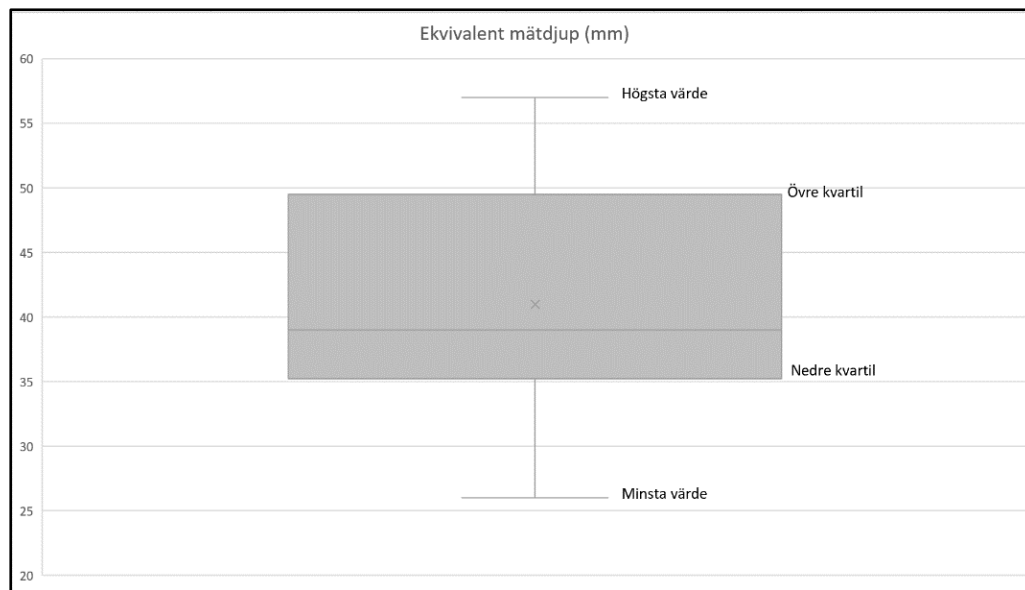
4.2 Analys av $RF_{\max}$ och beräknat ekvivalent mätdjup

Beräkningsresultat ges i form av högsta uppnådda RF under mattan $RF_{\max}$ (%) och ekvivalent mätdjup för 85 % RF Ekv (mm) i tvärsnittet, angivet i millimeter och procent. För beräkningsresultat ordnade efter $RF_{\max}$ och ekvivalent mätdjup, se tabell 4.1 nedan. I tabellen är $RF_{\max}$ som understiger 85 % och således klarar högsta tillåtna RF grönmärkade och $RF_{\max}$ som överstiger 85 % och således inte klarar högsta tillåtna RF är rödmärkade. Ingående parametrar $RF_{\text{avjämning}}$, Z_{matta} och $T_{\text{avjämning}}$ är färgkodade för enklare avläsning och analys.

Tabell 4.1, Beräkningsresultat ordnade efter RF_{max} och ekvivalent mätdjup.

Fall	$RF_{avjämning}$ (%)	Z_{matta} (s/m)	$T_{avjämning}$ (mm)	RF_{max} (%)	Ekv (mm)	Ekv (%)
4	55,5	500 000	60	75,00	26	11,3
1	55,5	500 000	30	75,16	29	12,6
10	55,5	1 000 000	60	75,82	30	13,0
7	55,5	1 000 000	30	76,81	30	13,0
16	55,5	5 000 000	60	80,51	37	16,1
2	65,0	500 000	30	80,91	38	16,5
5	65,0	500 000	60	81,04	38	16,5
13	55,5	5 000 000	30	81,50	39	17,0
8	65,0	1 000 000	30	81,70	39	17,0
11	65,0	1 000 000	60	81,82	39	17,0
14	65,0	5 000 000	30	82,34	40	17,4
17	65,0	5 000 000	60	82,46	40	17,4
3	80,0	500 000	30	86,98	45	19,6
6	80,0	500 000	60	87,15	49	21,3
9	80,0	1 000 000	30	87,61	51	22,2
12	80,0	1 000 000	60	87,78	55	23,9
15	80,0	5 000 000	30	88,12	56	24,3
18	80,0	5 000 000	60	88,29	57	24,8

Se figur 4.1. för redovisning av ekvivalenta mätdjup i låddiagram.



Figur 4.1, Låddiagram över ekvivalent mätdjup.

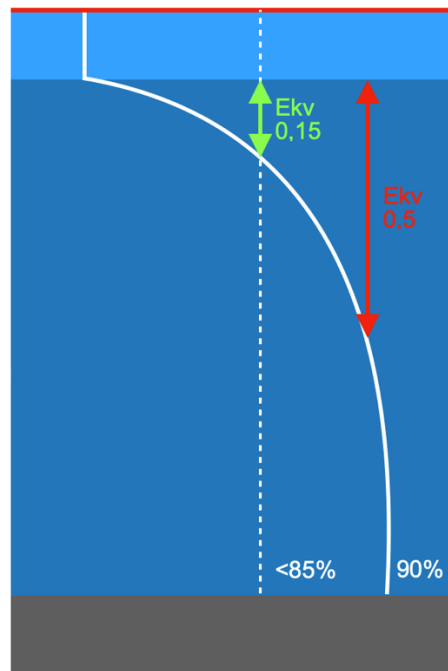
Vid analys av beräkningsresultaten i tabell 4.1 framgår det vilka av parametrarna RF i avjämningsmassa ($RF_{avjämning}$), respektive avjämningshöjd ($T_{avjämning}$) för ovanliggande avjämningsmassa och ånggenomsmotstånd för påliggande matta (Z_{matta}) som har en negativ respektive positiv inverkan på beräkningsresultaten i form av ekvivalent mätdjup.

Resultaten tyder på att den största påverkande faktorn är RF i ovanliggande avjämningsmassa, som visar att beräkningsfallen med högre RF i avjämningsmassa i regel ger en större maximal uppnådd RF samt ett större ekvivalent mätdjup. Vidare tyder resultaten även på att mattans täthet har en större påverkan än avjämningshöjden. Avjämningshöjden kan dock ha en betydande påverkan i kombination med mattans täthet, vilket en jämförelse mellan fall 13 och fall 16 tyder på.

Bortsett från fall 13 tycks påverkan av parametrar följa storleksordningen

1. RF i avjämningsmassan;
2. Mattans täthet;
3. Avjämningsstjocklek.

Utöver påverkan av olika parametrar tyder underlaget från beräkningsresultaten på att det faktiska ekvivalenta mätdjupet för 85 % RF i fogen mellan håldäcksplattor är mycket grundare än 115 mm eller hälften av fogens höjd på 230 mm som anges i RBK:s manual [3]. Se figur 4.2. för jämförelse mellan beräknat ekvivalent mätdjup och ekvivalent mätdjup enligt RBK, där beräknat ekvivalent mätdjup är grönmärkat och ekvivalent mätdjup enligt RBK är rödmärkat.



Figur 4.2, Beräknat ekvivalent mätdjup (grönmarkerat) i förhållande till ekvivalent mätdjup enligt RBK (rödmärkat).

Från underlaget ges ett medelvärde för ekvivalent mätdjup på ca 35 mm eller 15,4 % av fogens höjd i de beräkningsfall där RF_{max} inte överstiger 85 % RF. Om beräkningsfall där RF_{max} överstiger 85 % RF inkluderas stiger det ekvivalenta mätdjupet till ca 40 mm eller 17,3 % av fogens höjd.

4.3 Diskussion om beräkningsresultat

Av beräkningsunderlaget i avsnitt 4.2 ges två medelvärden för ekvivalent mätdjup, 15,4 % när $RF_{\max}$ som överstiger 85 % RF inte inkluderas, och 17,3 % när $RF_{\max}$ som överstiger 85 % RF inkluderas. Av dessa två medelvärden blir det högre värdet inte lika aktuellt som underlag för att basera framtida mätningar på, då mattlimmet i de fallet riskerar utsättas för alkalisk hydrolys. Endast medelvärdet 15,4 % av fogens höjd, eller mätdjup 35 mm i det aktuella fallet kan antas vägledande för framtida mätningar i liknande fall.

Värdet av underlaget bör sättas i proportion till osäkerheten som kommer från samtliga felkällor. Underlaget som ges av resultaten från beräkningar kan inte antas vara vägledande för uttorkningsfall som inte liknar de som används i arbetet. Resultat och utfall kan antas variera beroende på övriga faktorer som inte togs med i arbetets beräkningar, dessa inkluderar andra klimatförutsättningar, tjocklekar på håldäcksplattor utöver 265 mm, andra tätheter på matta, andra avjämningsjocklekar, andra fukttillstånd i avjämnning och fogbetong med annan VCT än 0,4.

4.4 Diskussion om felkällor

Geometrisk avvikelse

En känd feluppskattning av den verkliga fogen är det endimensionella tvärsnitt som antas för beräkningar och simulering i WUFI 1D. I den verkliga fogen sker inte uttorkningen endast uppåt och nedåt, men även i sidled. För att bättre simulera den verkliga fogen bör simuleringar motsvarande de från denna rapport göras på en tvådimensionell modell av fogen i till exempel WUFI 2D. Avvikelsen i uttorkningshastighet och fuktprofilen i tvärsnittet på grund av detta anses vara svåruppskattad.

Mätosäkerhet

En potentiell felkälla för indata tillhandahållen från Polygon|AK är den medföljande mätosäkerheten från mätningar i fält. Även med helt korrekt utförda mätningar så finns det en risk att avrundningar eller instrumentkalibrering kan ge marginellt missvisande mätvärden, som denna rapport sedan har utgått ifrån.

Beräkningsfel

Ett känt beräkningsfel är den positiva differens av vatteninnehållet som antas för varje skikt i beräkningsmodellen i WUFI. Eftersom vatteninnehållet varierar beroende på djupet så delas modellen upp i skikt med tillhörande vatteninnehåll, dock resulterar detta i en stegvis upptrappning av vattenmängden i modellens tvärsnitt, istället för en jämn och steglös kurva. Resultatet blir att modellen som antas i WUFI är blötare än i motsvarande verkligt fall. Skillnaden antas vara obetydlig för slutresultatet i form av det ekvivalenta mätdjupet.

Indata

I fuktberäkningar är indatan till WUFI av stor vikt då det kan leda till avsevärda skillnader i beräkningsresultaten. I detta examensarbete har Hedenblads jämviktsfuktkurvor använts medan det står tydligt i materialbeskrivningen att materialdatan gäller för flera år gammal välhydratiserad betong och inte kan användas för uttorkning av byggfukt i betong. Detta hävdar Fuktcentrum [13] att det går att räkna om till nygjuten betong men inget tillvägagångssätt redogörs. Det korrekta sättet hade varit att hämta in fukttransportegenskaper för nygjuten betong vilket inte gick att tillgå för detta arbete. Denna felkälla kan påverka slutresultatet avsevärt och för noggrannare beräkningar bör fukttransportegenskaper för nygjuten betong användas i framtida beräkningar.

Jämviktsfuktkurvor

Skarpa böjningar i absorptions- och desorptionskurvor (det vill säga Hedenblads jämviktsfuktkurvor i detta fall) leder till avvikelser från de samlade upprepade beräkningarna som WUFI utför. Därför bör man minimera avvikelsen genom att ange flera punkter med känt fukttinnehåll. Detta berör resultatet i detta arbete, då för beräkning av vatteninnehåll som ligger mellan de angivna punkterna i Hedenblads jämviktsfuktkurvor, där en linjär interpolering har utförts. Differensen mellan de framtagna värdena och de verkliga värdena anses vara minimal då vatteninnehållsintervallet i Hedenblads jämviktsfuktkurva är förhållandevis litet [15].

Klimatdata

Under beräkning av uttorkning i Torka S valdes klimatdata för Stockholm, denna klimatdata är representativ för perioden 1995-2005 och beskriver ett normalår utan extrema perioder av värme, kyla, fuktighet eller torka [13]. En klimatdata på 10 års period utan hänsyn till extremväder anses vara lämplig och inverkan av denna felkälla anses vara minimal för detta arbete. Under beräkningar av de olika fallen i WUFI har stationära väderförhållanden med parametrarna RF= 50 % och Temp = 20 °C grader antagits. Sådant väderförhållande i WUFI avser uttorkning av betongfogen när nödvändigt byggnadselement för klimatstyrning är monterat. Detta är en förenkling av de riktiga väderförhållandena och ett medelvärde som tar hänsyn till temperaturvariationer och RF-variationer som sker under ett helt år. Denna felkälla anses ha svårbedömd inverkan på slutresultatet.

Brytskikt

För en ännu noggrannare beräkning kan brytskiktet i vilket uttorkning går över till uppfuktning delas upp så att tillhörig absorption respektive desorptionkurva kan användas men i samband med skiktets tjocklek (1 mm) kan denna eventuella felkälla försummas.

WUFI

Vidare kan WUFIs lämplighet för sådana uttorkningsberäkningar diskuteras. I en studie utförd vid Porto universitet [17] undersöks uttorkningsprocessen i porösa byggnadsmaterial med hjälp av simuleringsverktyget TRHumidade, WUFI Pro, och experimentellt resultat erhållet via försök med gammastrålning. Författaren hävdar att de numeriska erhållna värdena från båda beräkningsprogrammen liknar de experimentella värdena erhållna via gammastrålning, samtidigt som att i området nära ytorna visar TRHumidade bättre resultat jämfört med WUFI Pro. Detta för att när det kommer till

ytorna överväger WFUI Pro jämvikt med utomhusklimatet men i de experimentella värdena från gammastrålning är resultaten annorlunda. Mot bakgrund av detta kan det vara lämpligt att alltid beräkna fuktinnehållet för flera punkter i fruktprofilerna närmare ytorna, samtidigt som utomhusklimatförhållandena beaktas. Med tanke på de stationära förhållandena i detta arbete anses denna inverkan vara minimal.

Kritisk fukttillstånd

I [18] menar författaren att genom att minska osäkerheten i mätningar med en procentenhet RF kan torktiden förkortas med veckor eller till och med månader. Vidare hävdar författaren att torktider kan reduceras kraftigt på samma sätt vid en höjning av gränsen för den kritiska fuktnivån. Fortsättningsvis skriver författaren att det kritiska fukttillståndet är bestämt på ett ovetenskapligt sätt och grundar sig i vad materialleverantörer anser är lämpligt. Det finns inte någon koppling mellan det fukttillstånd som faktiskt orsakar en skada och det gränsvärde som gäller för PVC-mattor.

5. SLUTSATSER

Resultaten från detta arbete visar att den största påverkande faktorn för det ekvivalenta mätdjupet är RF i ovanliggande avjämningsmassa, vilket tydliggörs av beräkningsfallen med högre RF i avjämningsmassan som i regel ger en högre maximal uppnådd RF samt ett djupare ekvivalent mätdjup. Vidare visar resultaten även på att mattans täthet har en större påverkan än avjämningshöjden. Avjämningshöjden kan dock ha en betydande påverkan i kombination med mattans täthet. Slutsatser från detta arbete kan redogöras i form av svar på frågeställningarna som återfinns i rapportens inledande avsnitt. Detta arbete visar att:

- Det faktiska ekvivalenta mätdjupet för fogbetongen mellan håldäcksplattor i de valda fallen är närmare 15-18 % av fogens höjd, och inte så djupt som 50 % som anges i manualerna från RBK.
- Den parameter som har störst inverkan på resultatet i form av maximal relativ fuktighet och tillhörande beräknat ekvivalent mätdjup är relativ fuktighet i avjämningsmassan, följt av mattans täthet och sist avjämningsstjockleken.

Resultaten från detta arbete pekar på att produktionstiden kan kortas ned genom att mer precist beräkna det ekvivalenta mätdjupet och således bättre avgöra tillhörande torktider.

6. FORTSATTA STUDIER

Beräkningar med WUFI 2D

Eftersom beräkning med hjälp av WUFI 1D endast kan göras med en endimensionell modell av fogen mellan HD/F-plattor kan beräkningsresultat från 1D till viss del vara missvisande för det verkliga fallet. En tvådimensionell modell skulle på ett mer exakt sätt representera den verkliga fogen och dess uttorkning i sidled och med hänsyn till dess form. Ett kompletterande arbete med utgångspunkt i denna rapport som dessutom utökar beräkningarna till att innefatta en modell i WUFI 2D skulle kunna bekräfta eller dementera detta arbetes underlag och ge ett större underlag för framtida uttorkningsmätningar.

Beräkningar med fler eller andra parametrar

I detta arbete har endast ett specifikt element med vissa varierande parametrar undersökts. En utökad beräkning för fler element med fler parametrar skulle även det ge ett större underlag för framtida uttorkningsmätningar.

Kompletterande mätningar i fält

Eftersom beräkningarna i detta arbete med baseras på tidigare utförda mätningar skulle ett kompletterande arbete kunna utgöras av en större mängd mätningar i fält. Mätningar skulle kunna utföras på valda element i olika situationer och med varierande parametrar. Ett sånt arbete skulle troligtvis vara logistiskt svårutfört, men skulle kunna reducera de omfattande beräkningar som utförts i detta arbete.

REFERENSER

- [1] P. G. Burström , Byggnadsmaterial-Uppbyggnad, tillverkning och egenskaper, Lund: Studentlitteratur AB, 2007.

- [2] Svenska Byggbranschens Utvecklingsfond, ”SBUF,” 30 Oktober 2003.
[Online]. Available:
<https://vpp.sbuf.se/Public/Documents/ProjectDocuments/96fdafea-89b7-43b2-a995-aa0deec16c9a/FinalReport/SBUF%201186%20Fuktrisker%20i%20h%C3%A5ld%C3%A4cksbj%C3%A4klag.pdf>. [Använd 20 April 2021].

- [3] Rådet för Byggkompetens , ”RBK,” 16 Januari 2019. [Online]. Available:
http://www.rbk.nu/UserFiles/Fuktmättningsmanualen/VER_61/Flik_2_ver_61.pdf. [Använd 12 Maj 2021].

- [4] J. Tannfors, Interviewee, *Polygon|AK*. [Intervju]. 10 05 2021.

- [5] Betong Media AB, ”Betong,” 28 Maj 2020. [Online]. Available:
<https://betong.se/2020/05/28/okad-betongproduktion-under-2020/>. [Använd 10 Maj 2021].

- [6] J. Silfwerbrand och et al, Betonghandbok material-delmaterial samt färsk och hårdnande betong del 1, Halmstad: Bulls Graphics, 2017.

- [7] Nationalencyklopedin, ”NE,” [Online]. Available: <https://www.ne.se>. [Använd 10 Maj 2021].

- [8] Skandinaviska byggelement, ”Håldäck - ett långsiktigt val,” *PREFABRICERADE BETONGELEMENT*, p. 4, 2016.

- [9] Strängbetong, *Samtal med Henrik Vinell*, Uppsala, 2021.
- [10] K. Sandin, *Praktisk byggnadsfysik*, 1:2 red., Lund: Studentlitteratur, 2010.
- [11] L. E. Nevander och B. Elmarsson, *FUKT handbok-praktik och teori*, Stockholm : Svensk Byggtjänst AB , 1994.
- [12] J. Arfvidsson , ”Fuktcentrum,” 15 November 2015. [Online]. Available: <https://www.fuktcentrum.lth.se/verktyg-och-hjaelpmedel/windows-baserade-datorprogram/wufi/hur-vet-man-daa-att-en-wufi-simulering-aer-genomfoerd-paa-ett-bra-saett/>. [Använd 10 Maj 2021].
- [13] J. Arfvidsson, G. Hedenblad och L. O. Nilsson, ”Fuktcentrum,” [Online]. Available: https://www.fuktcentrum.lth.se/fileadmin/fuktcentrum/PDF-filer/Datorprogrammet_TorkaS_3_slutversion_rev__1.pdf. [Använd 10 Maj 2021].
- [14] G. Hedenblad och M. Janz, ”Inverkan av alkali på uppmätt RH i betong,” Lunds tekniska högskola Avd. Byggnadsmaterial , Lund, 1994.
- [15] *WUFI Pro 6.5. User's Guide*, Uppsala: Fraunhofer IBP, 2021.
- [16] Strängbetong CONSOLIS, ”Strangbetong,” 13 Februari 2018. [Online]. Available: https://strangbetong.se/wp-content/uploads/2018/03/Str%C3%A4ngbetong_h%C3%A5ld%C3%A4ck_elementtv%C3%A4rsnitt_20180213.pdf. [Använd 10 Maj 2021].
- [17] A. S. Guimarães,, I. M. Ribeiro och V. P. de Freitas, ”Numerical models performance to predict drying liquid water in porous building materials: Comparison of experimental and simulated drying water content profiles,” Cogent Engineering, Porto University , 2017.

- [18] M. Åhs och O. L. Nilsson, "Uttorkningstider och kritisk fuktillstånd- kemisk fuktbindning och alkalitransport," Lunds tekniska högskola Avd Byggnadsmaterial, Lund, 2010.
- [19] L. O. Nilsson, "FUKTPÅVERKAN PÅ MATERIAL, KRITISKA FUKTNIVÅER -en informationsskrift," Lunds tekniska högskola Avd . Byggnadsmaterial, Lund, 2004.

Bilaga A - Torka S

Resultat från uttorkningsberäkning med TorkaS 3.1

Projekt:

Namn:

Företag:

Förutsättningar

Mellanbjälklag med plattbärlag (5 cm)

Gjutning: 18/8 2020

Tätt hus: 17/2 2021

Torkstart: 17/3 2021

Slutdatum: 18/8 2021

Ort: Stockholm

Tjocklek: 22cm

Vct: 0,40

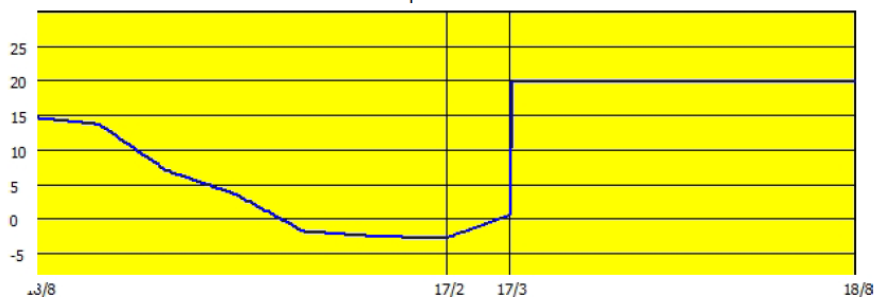
Vattenhalt: 180

Cementhalt: 450kg/m³

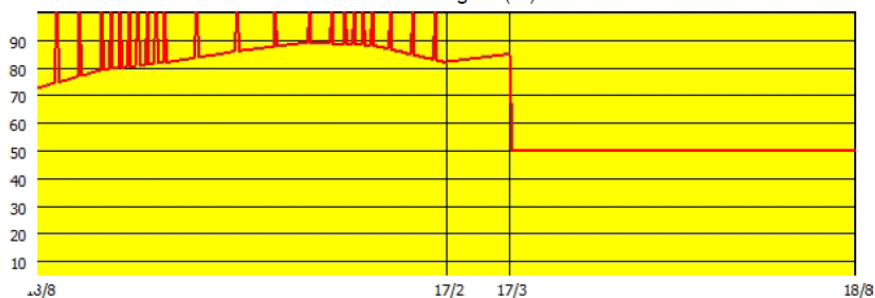


Torkklimat

Temperatur

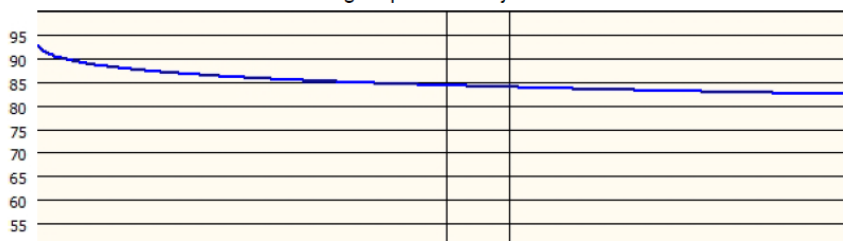


Relativ fuktighet (%)



Resultat från beräkning

Relativ fuktighet på 25% av tjockleken

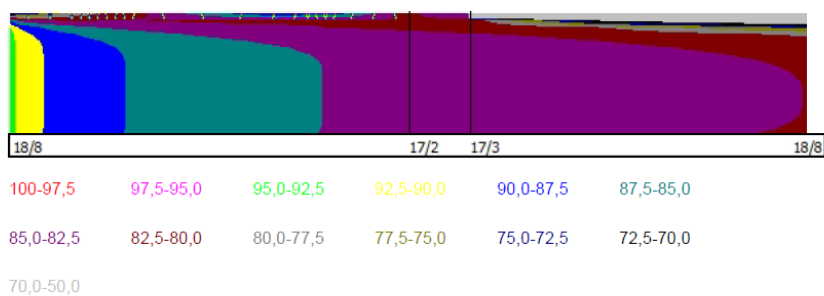


Projekt:

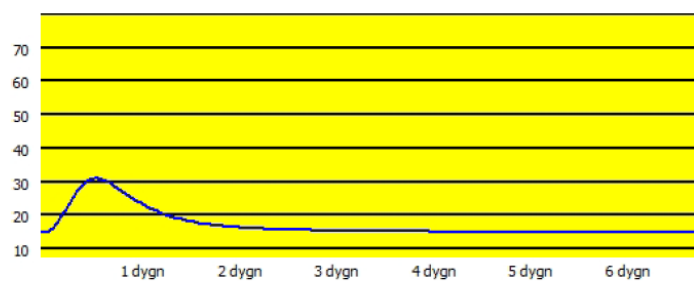
Namn:

Företag:

Relativ fuktighet i betongplattan



Temperaturutveckling i betongplattan de första dagarna



Förutsättningar för temperaturberäkning

Form: Ingen

Täckning: ingen
Värmekond.: 0,30W/(mK)
Tjocklek: 1mm
Täckningstid: 0dygn

Vindstyrka: Vindstill

Projekt:

Namn:

Företag:

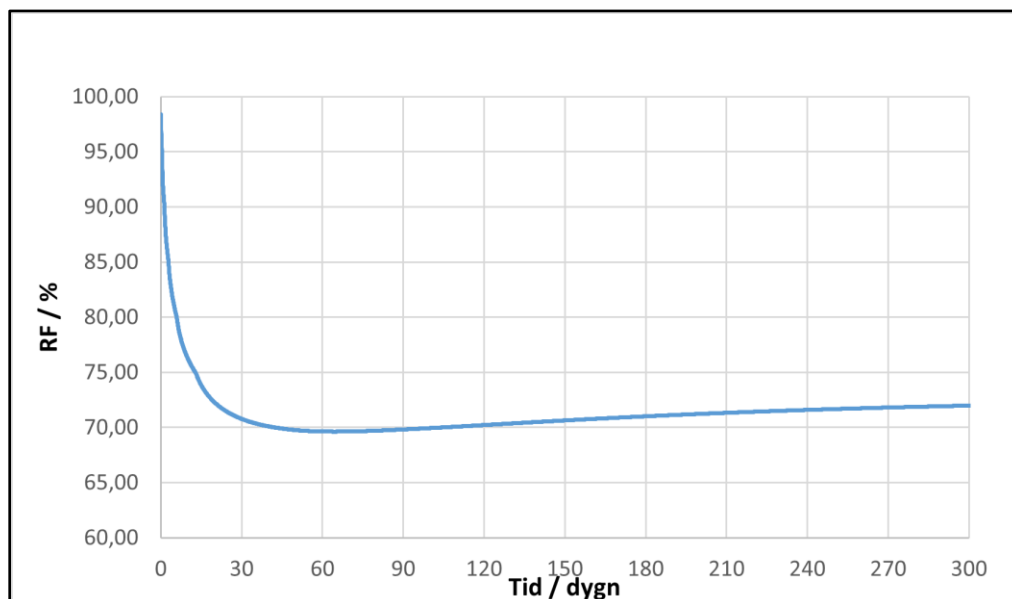
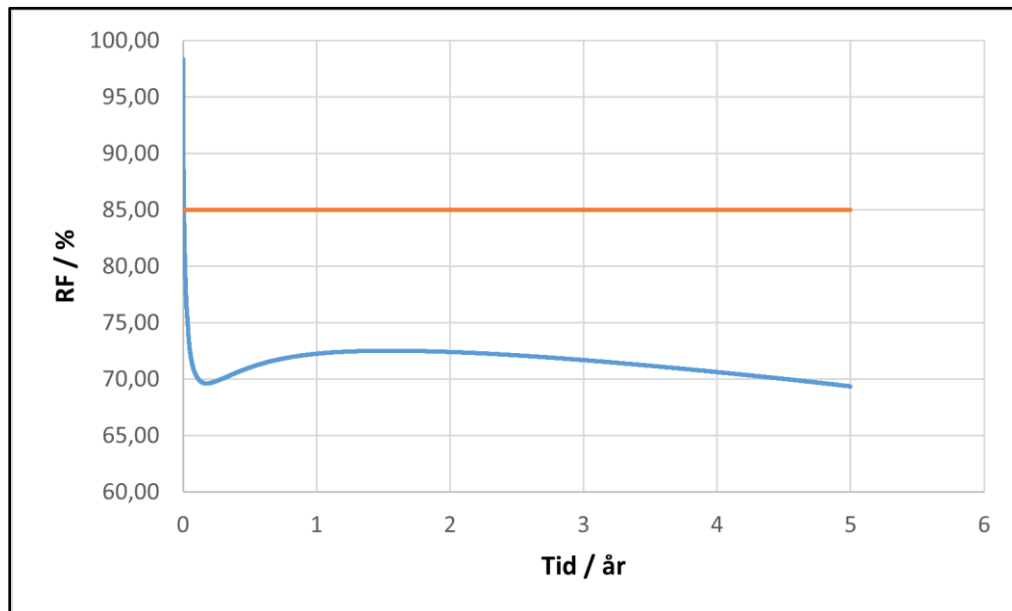
Relativ fuktighet på 25% av tjockleken

Dag	RF	Dag	RF	Dag	RF	Dag	RF	Dag	RF	Dag	RF
19/8	93	24/10	87	29/12	85	5/3	84	10/5	83	15/7	83
20/8	92	25/10	87	30/12	85	6/3	84	11/5	83	16/7	83
21/8	92	26/10	87	31/12	85	7/3	84	12/5	83	17/7	83
22/8	92	27/10	87	1/1	85	8/3	84	13/5	83	18/7	83
23/8	91	28/10	87	2/1	85	9/3	84	14/5	83	19/7	83
24/8	91	29/10	87	3/1	85	10/3	84	15/5	83	20/7	83
25/8	91	30/10	87	4/1	85	11/3	84	16/5	83	21/7	83
26/8	91	31/10	87	5/1	85	12/3	84	17/5	83	22/7	83
27/8	91	1/11	86	6/1	85	13/3	84	18/5	83	23/7	83
28/8	90	2/11	86	7/1	85	14/3	84	19/5	83	24/7	83
29/8	90	3/11	86	8/1	85	15/3	84	20/5	83	25/7	83
30/8	90	4/11	86	9/1	85	16/3	84	21/5	83	26/7	83
31/8	90	5/11	86	10/1	85	17/3	84	22/5	83	27/7	83
1/9	90	6/11	86	11/1	85	18/3	84	23/5	83	28/7	83
2/9	90	7/11	86	12/1	85	19/3	84	24/5	83	29/7	83
3/9	90	8/11	86	13/1	85	20/3	84	25/5	83	30/7	83
4/9	90	9/11	86	14/1	85	21/3	84	26/5	83	31/7	83
5/9	89	10/11	86	15/1	85	22/3	84	27/5	83	1/8	83
6/9	89	11/11	86	16/1	85	23/3	84	28/5	83	2/8	83
7/9	89	12/11	86	17/1	85	24/3	84	29/5	83	3/8	83
8/9	89	13/11	86	18/1	85	25/3	84	30/5	83	4/8	83
9/9	89	14/11	86	19/1	85	26/3	84	31/5	83	5/8	82
10/9	89	15/11	86	20/1	85	27/3	84	1/6	83	6/8	82
11/9	89	16/11	86	21/1	85	28/3	84	2/6	83	7/8	82
12/9	89	17/11	86	22/1	85	29/3	84	3/6	83	8/8	82
13/9	89	18/11	86	23/1	85	30/3	84	4/6	83	9/8	82
14/9	89	19/11	86	24/1	85	31/3	84	5/6	83	10/8	82
15/9	89	20/11	86	25/1	85	1/4	84	6/6	83	11/8	82
16/9	89	21/11	86	26/1	85	2/4	84	7/6	83	12/8	82
17/9	88	22/11	86	27/1	85	3/4	84	8/6	83	13/8	82
18/9	88	23/11	86	28/1	85	4/4	84	9/6	83	14/8	82
19/9	88	24/11	86	29/1	85	5/4	84	10/6	83	15/8	82
20/9	88	25/11	86	30/1	85	6/4	84	11/6	83	16/8	82
21/9	88	26/11	86	31/1	85	7/4	84	12/6	83	17/8	82
22/9	88	27/11	86	1/2	85	8/4	84	13/6	83		
23/9	88	28/11	86	2/2	85	9/4	84	14/6	83		
24/9	88	29/11	86	3/2	84	10/4	84	15/6	83		
25/9	88	30/11	86	4/2	84	11/4	84	16/6	83		
26/9	88	1/12	86	5/2	84	12/4	84	17/6	83		
27/9	88	2/12	86	6/2	84	13/4	84	18/6	83		
28/9	88	3/12	86	7/2	84	14/4	84	19/6	83		
29/9	88	4/12	86	8/2	84	15/4	84	20/6	83		
30/9	88	5/12	86	9/2	84	16/4	84	21/6	83		
1/10	88	6/12	86	10/2	84	17/4	84	22/6	83		
2/10	88	7/12	86	11/2	84	18/4	84	23/6	83		
3/10	88	8/12	86	12/2	84	19/4	84	24/6	83		
4/10	88	9/12	85	13/2	84	20/4	84	25/6	83		
5/10	87	10/12	85	14/2	84	21/4	84	26/6	83		
6/10	87	11/12	85	15/2	84	22/4	83	27/6	83		
7/10	87	12/12	85	16/2	84	23/4	83	28/6	83		
8/10	87	13/12	85	17/2	84	24/4	83	29/6	83		
9/10	87	14/12	85	18/2	84	25/4	83	30/6	83		
10/10	87	15/12	85	19/2	84	26/4	83	1/7	83		
11/10	87	16/12	85	20/2	84	27/4	83	2/7	83		
12/10	87	17/12	85	21/2	84	28/4	83	3/7	83		
13/10	87	18/12	85	22/2	84	29/4	83	4/7	83		
14/10	87	19/12	85	23/2	84	30/4	83	5/7	83		
15/10	87	20/12	85	24/2	84	1/5	83	6/7	83		
16/10	87	21/12	85	25/2	84	2/5	83	7/7	83		
17/10	87	22/12	85	26/2	84	3/5	83	8/7	83		
18/10	87	23/12	85	27/2	84	4/5	83	9/7	83		
19/10	87	24/12	85	28/2	84	5/5	83	10/7	83		
20/10	87	25/12	85	1/3	84	6/5	83	11/7	83		
21/10	87	26/12	85	2/3	84	7/5	83	12/7	83		
22/10	87	27/12	85	3/3	84	8/5	83	13/7	83		
23/10	87	28/12	85	4/3	84	9/5	83	14/7	83		

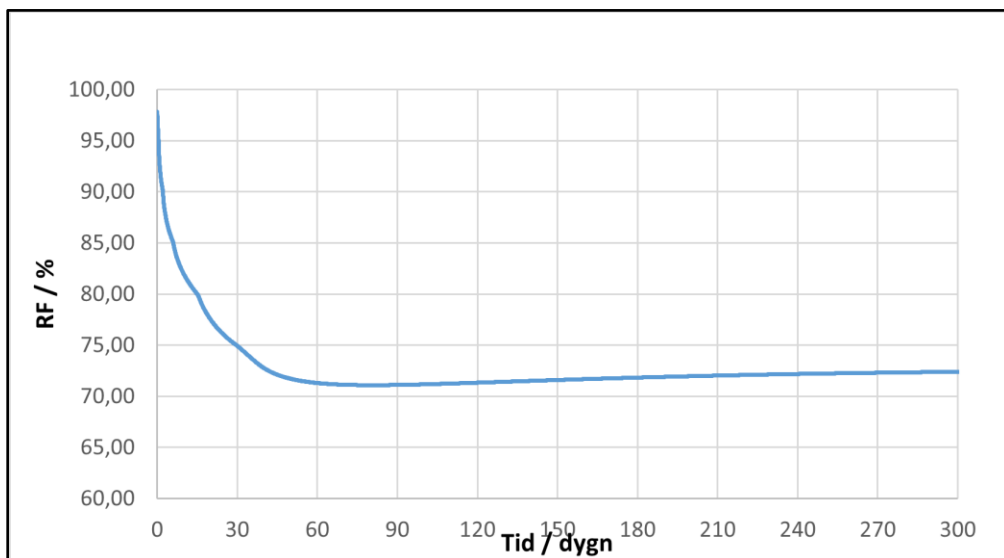
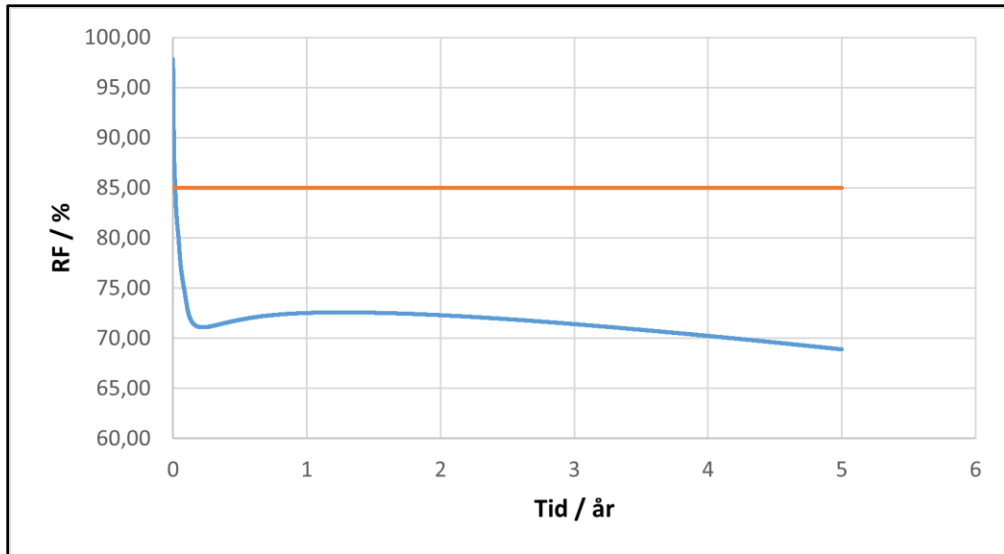
Bilaga- B

RF-fördelning över år & dygn i samtliga fall

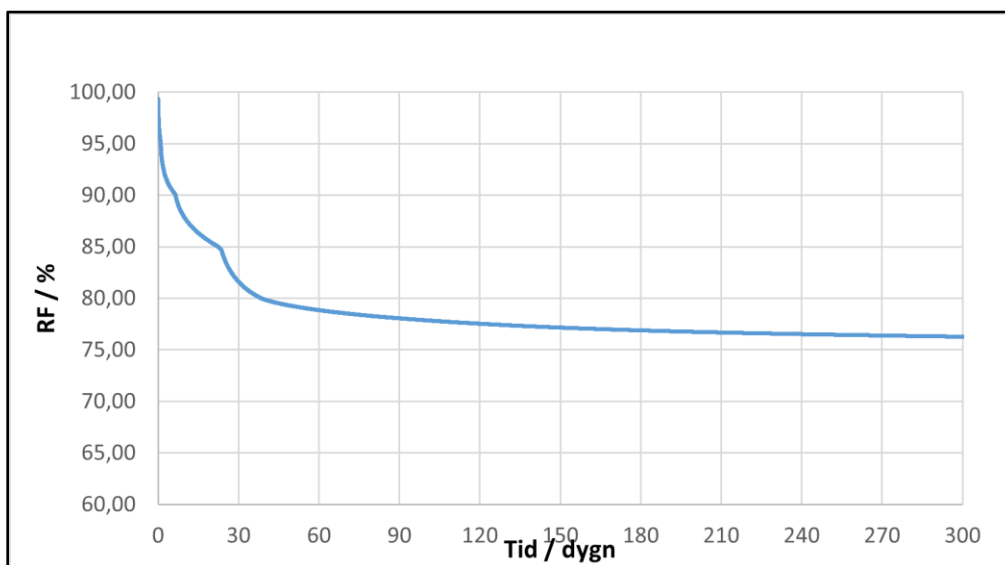
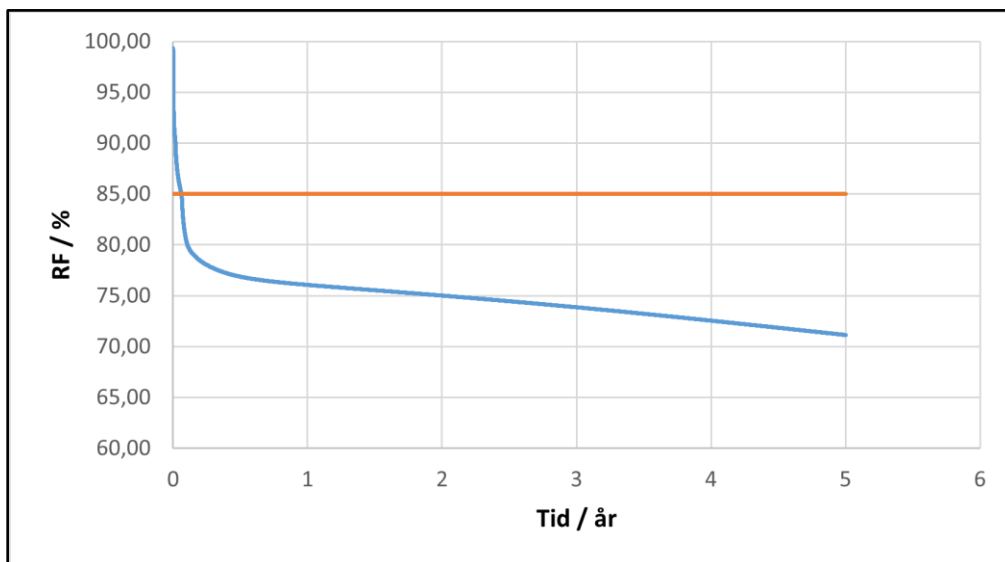
Fall1



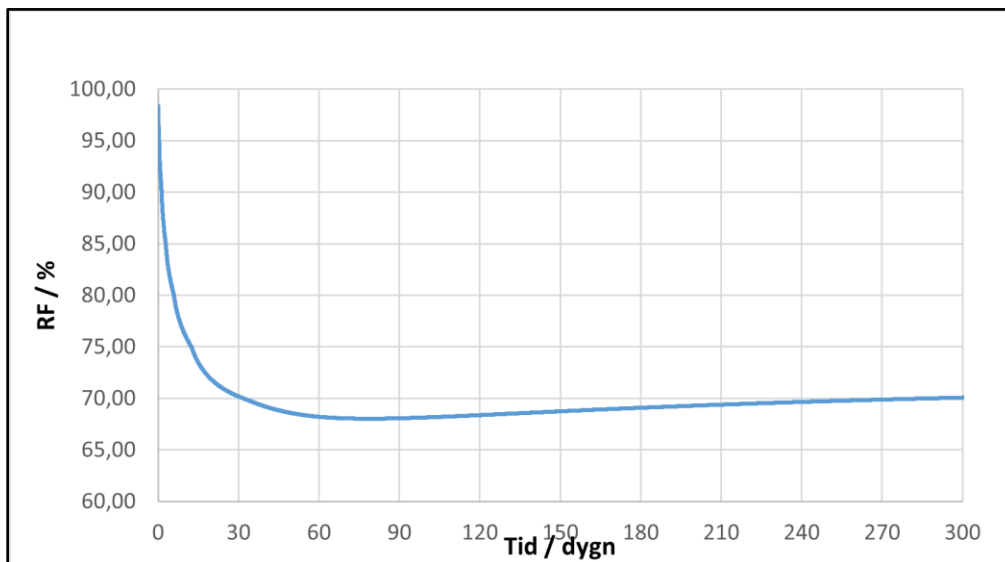
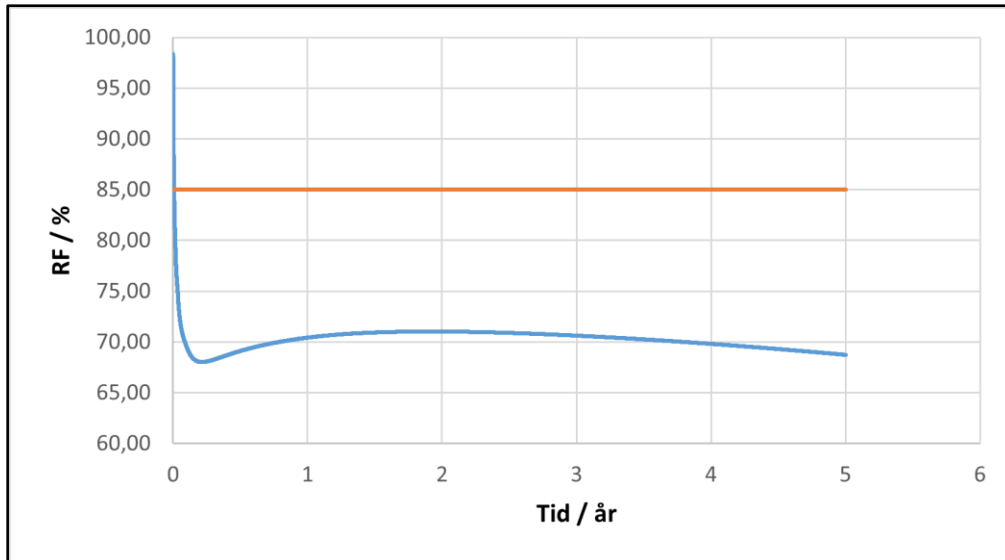
Fall 2



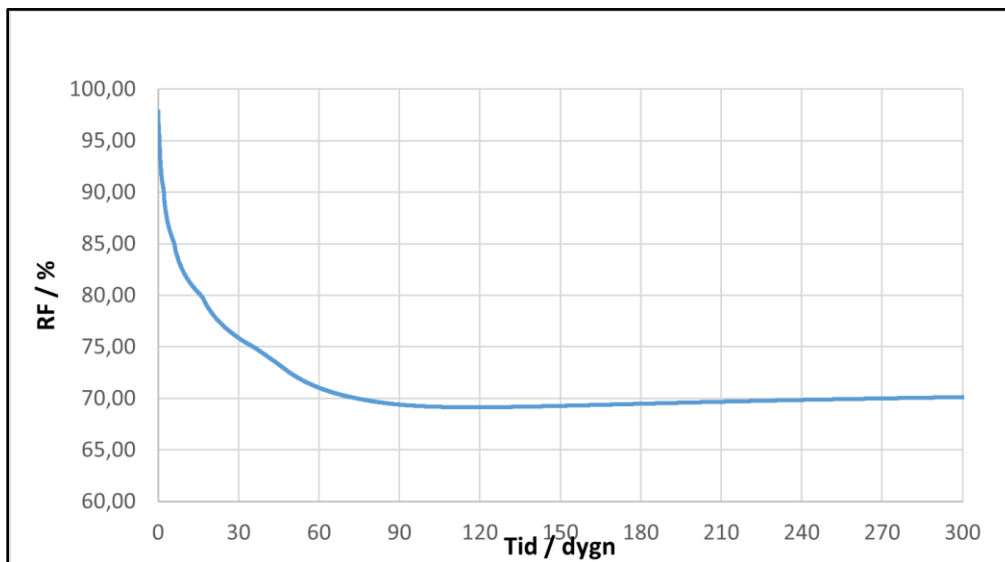
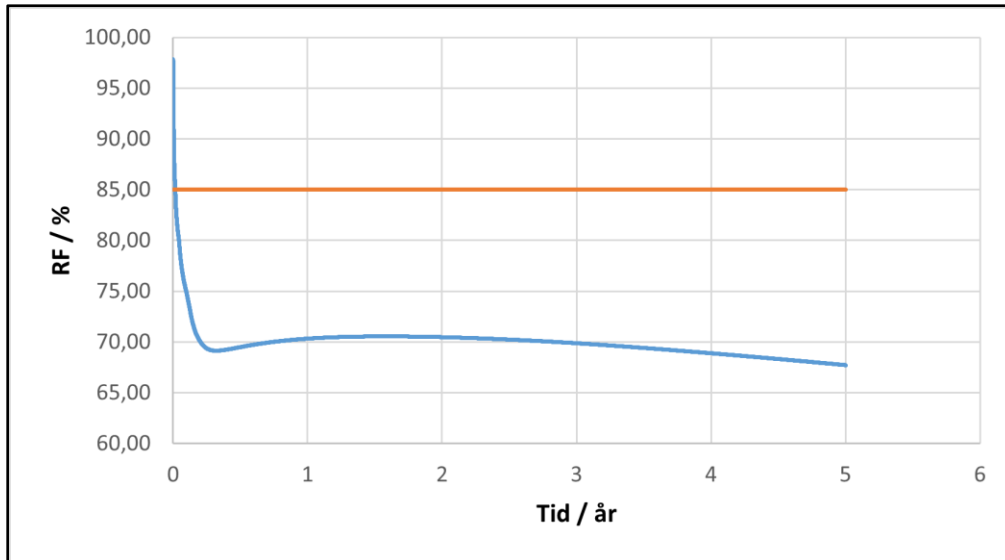
Fall 3



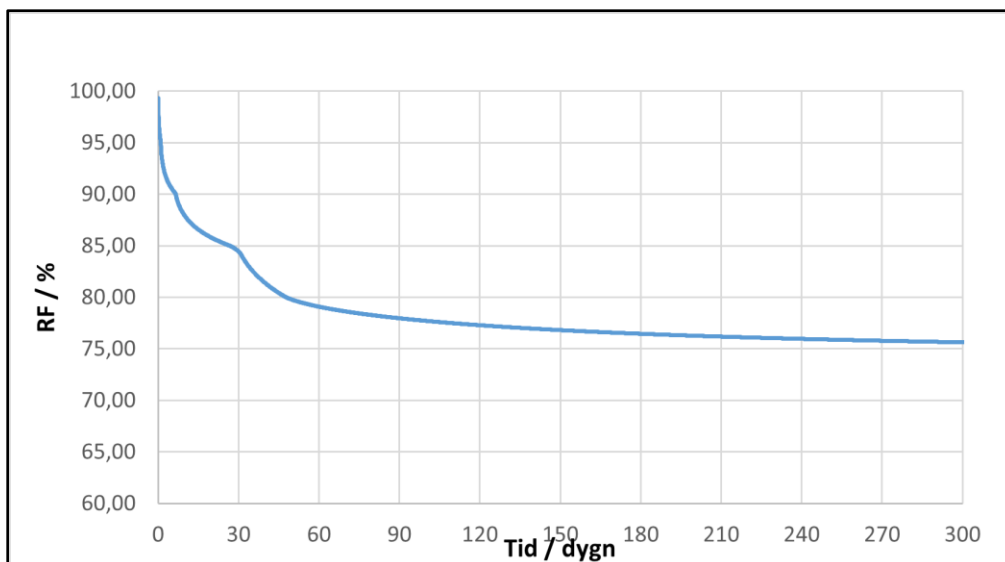
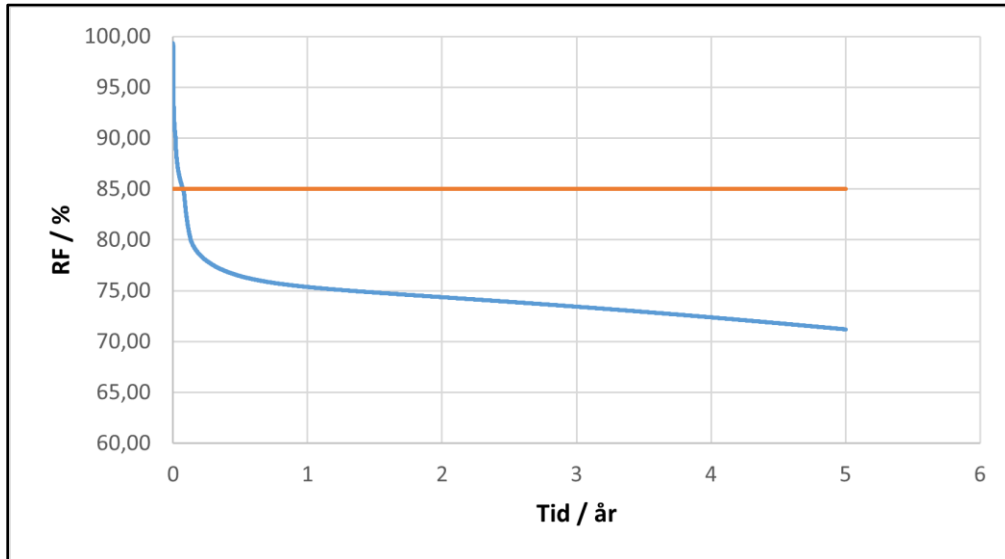
Fall 4



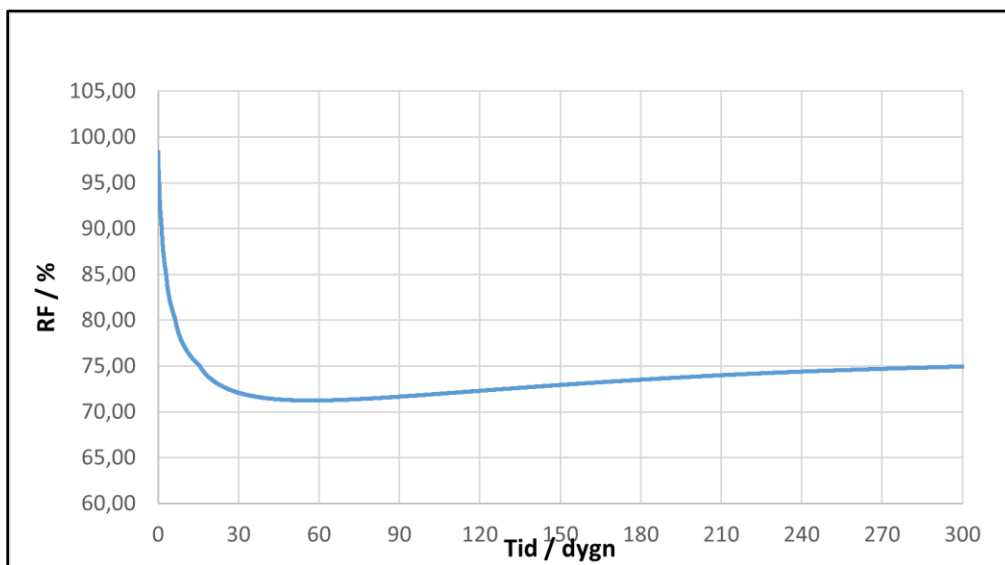
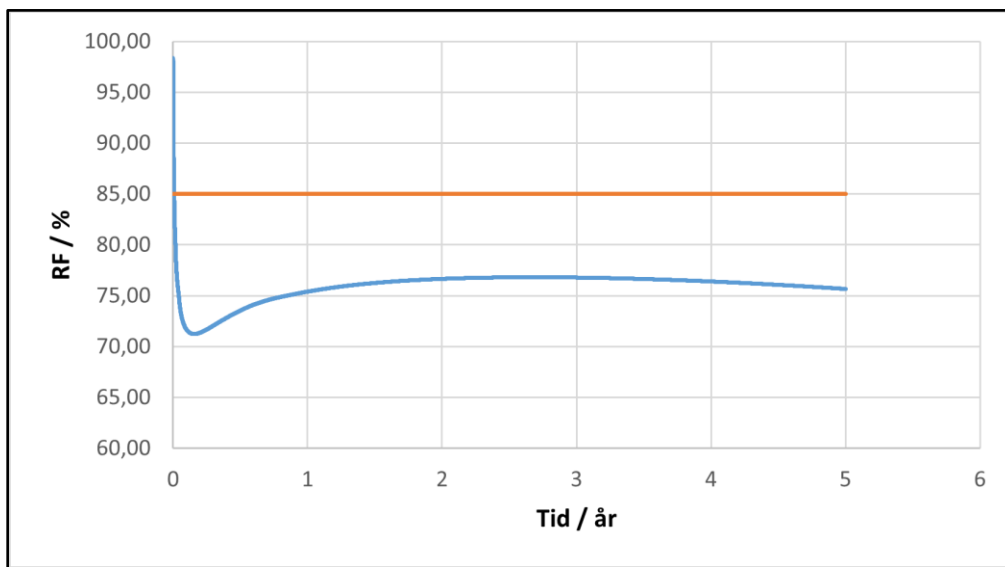
Fall 5



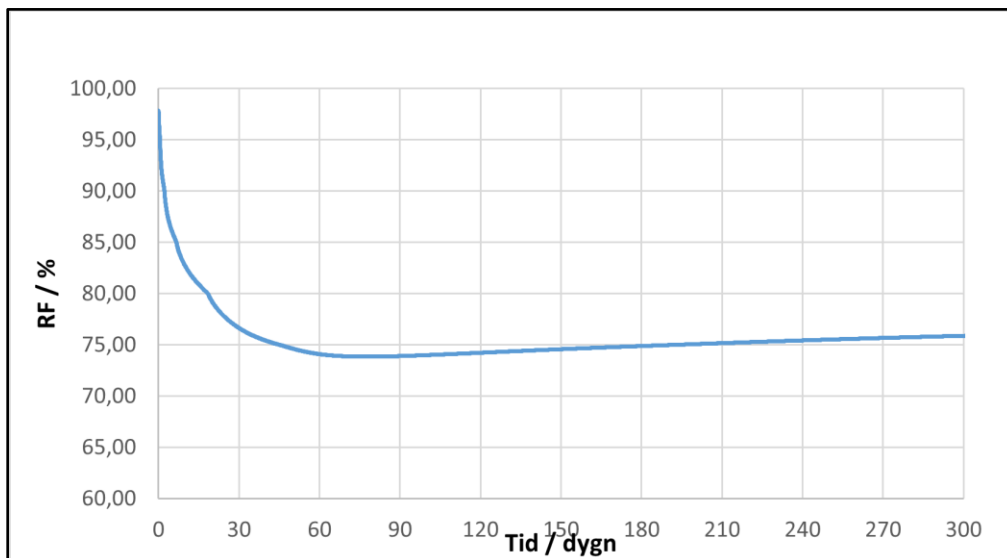
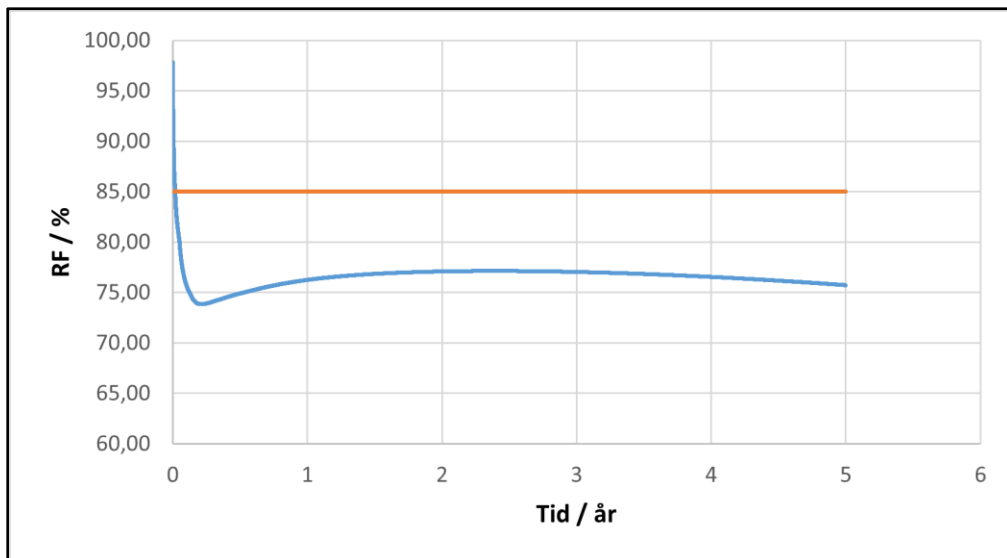
Fall 6



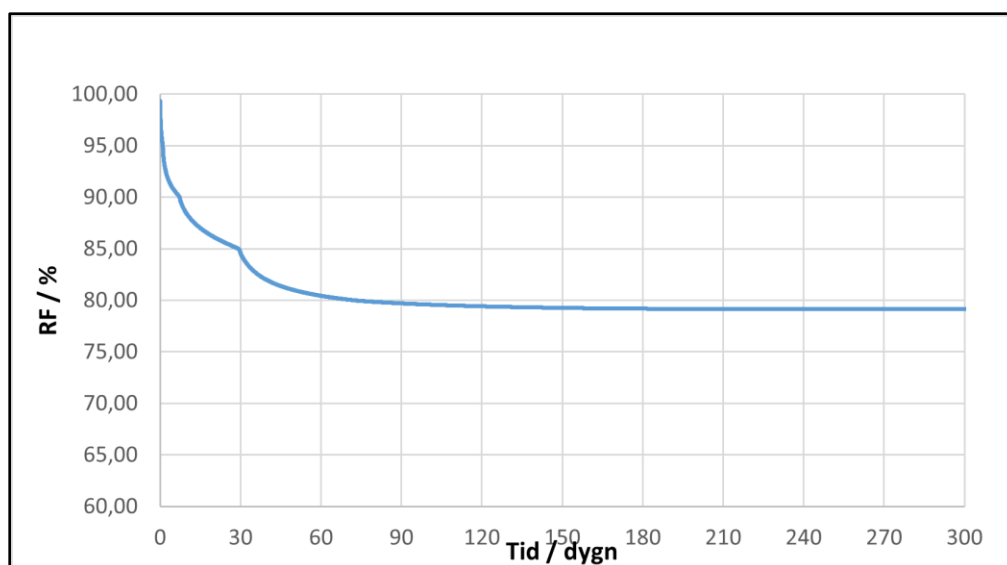
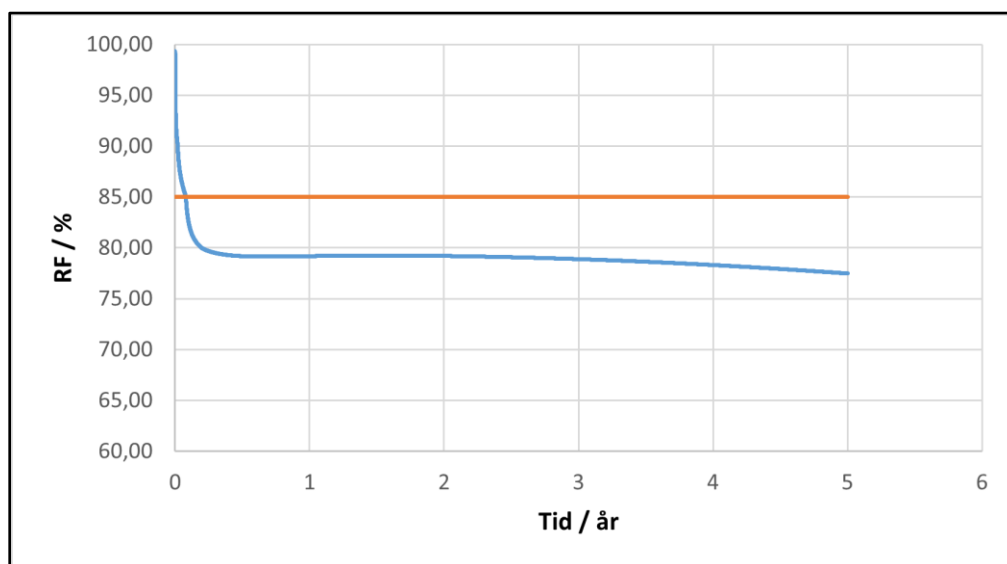
Fall 7



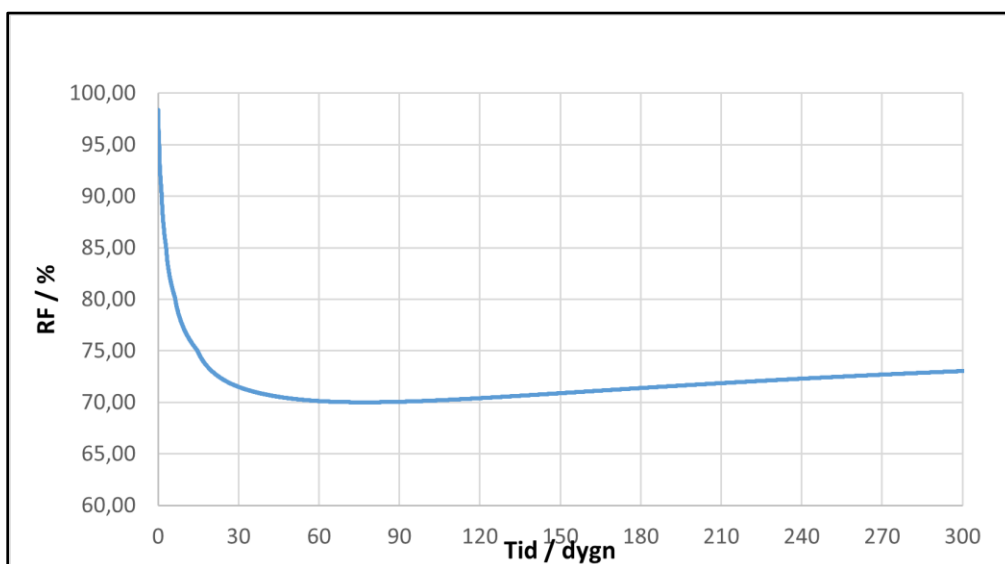
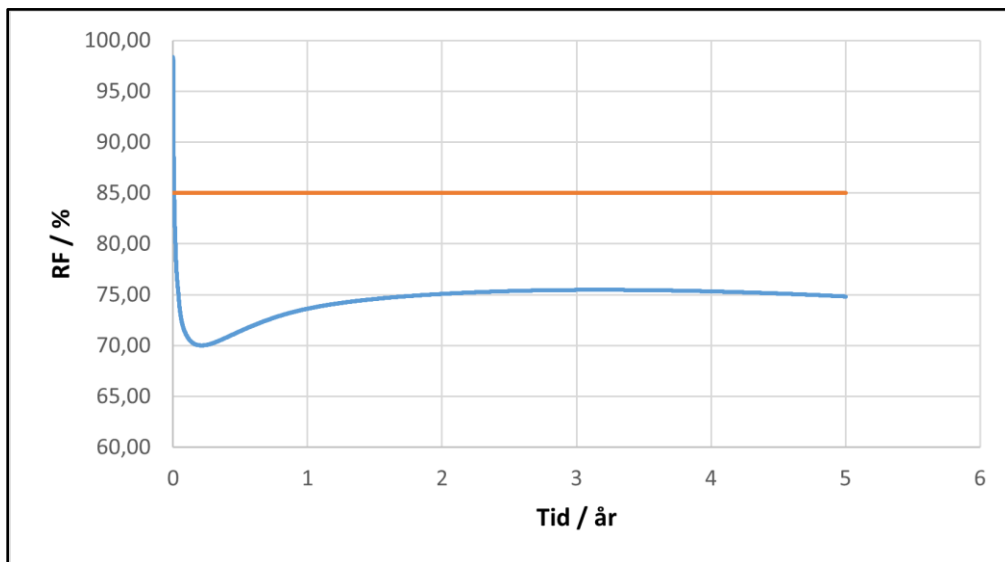
Fall 8



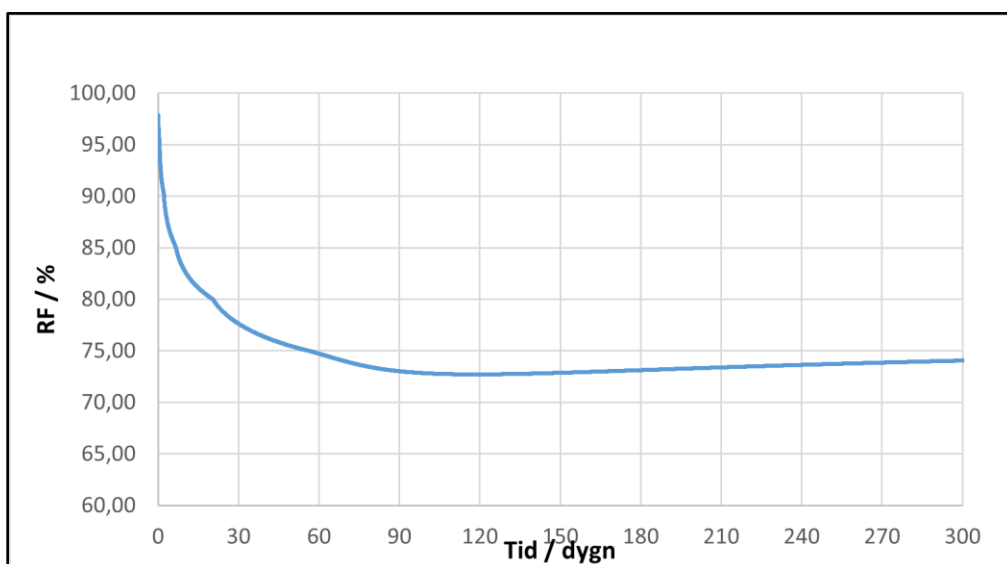
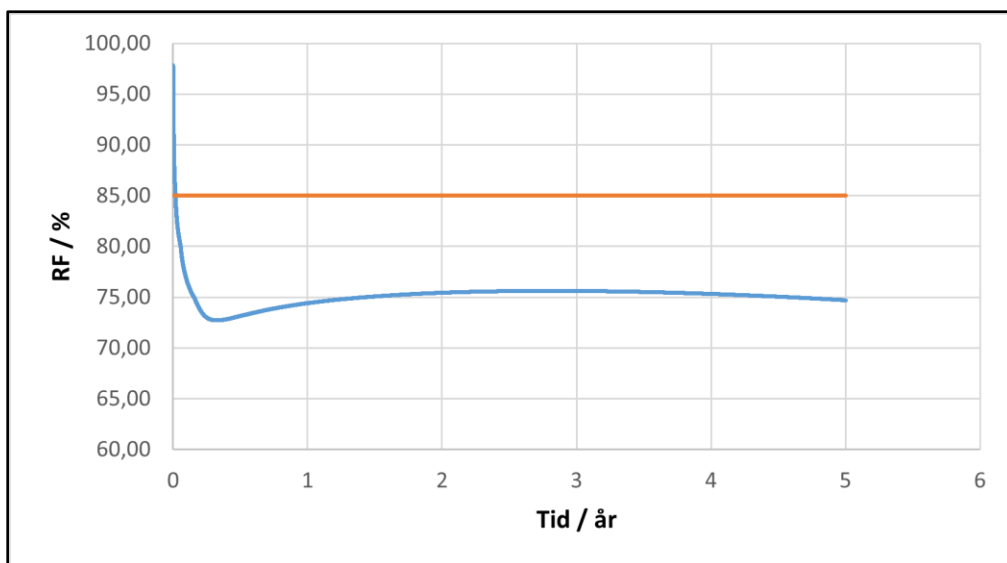
Fall 9



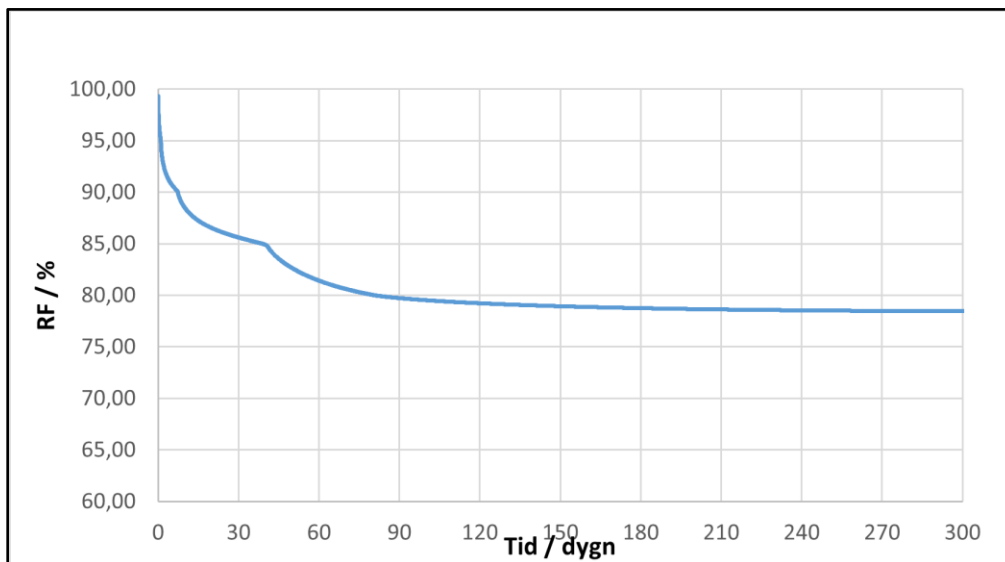
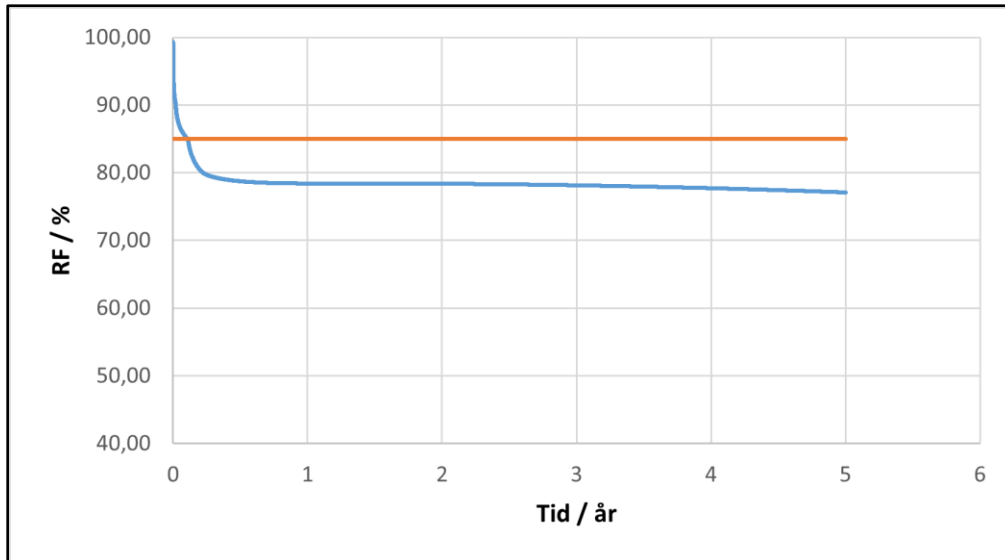
Fall 10



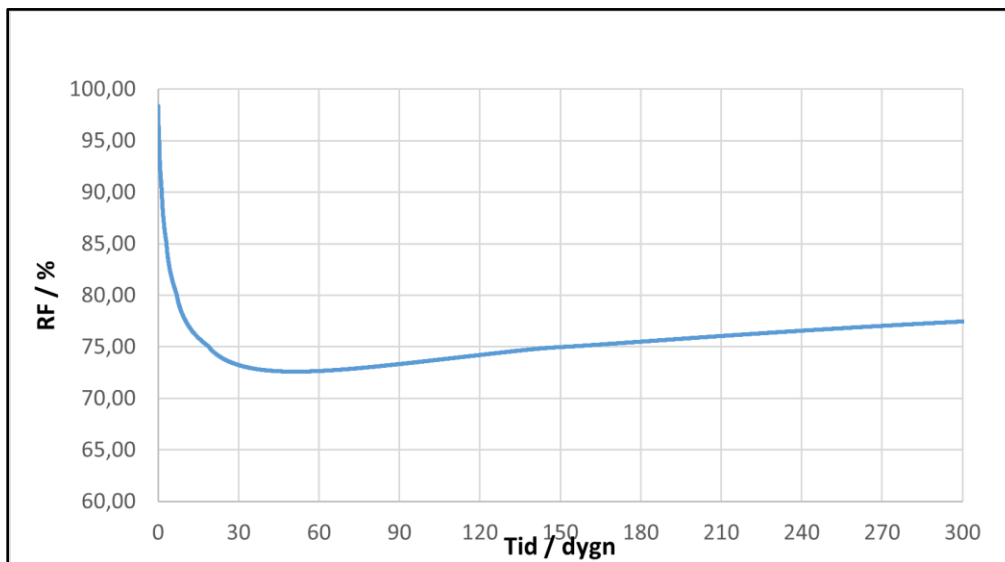
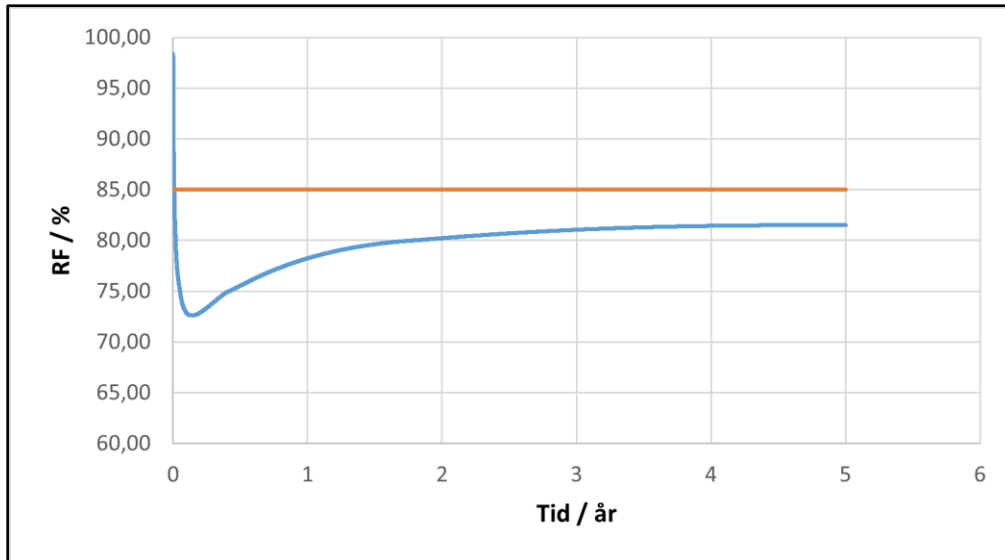
Fall 11



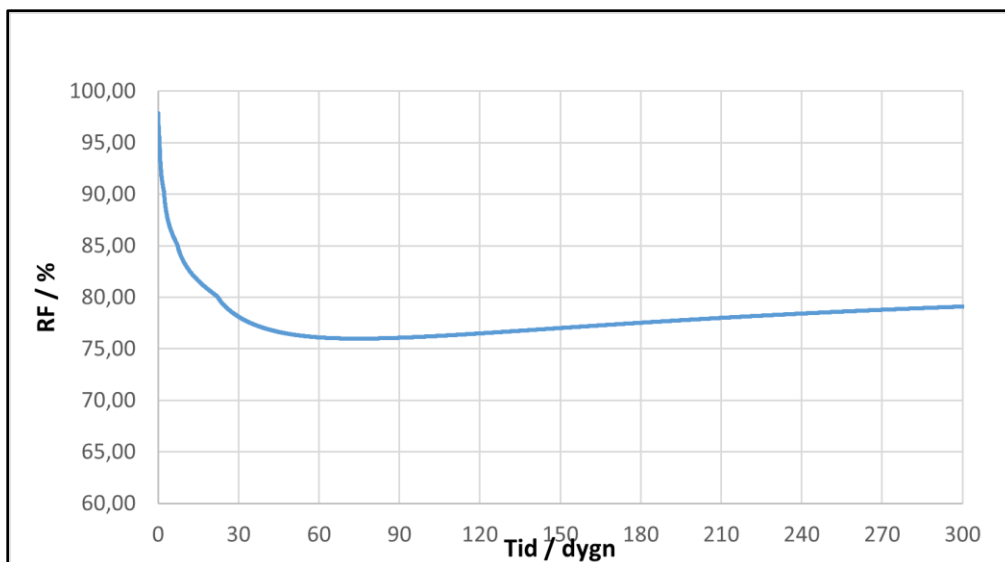
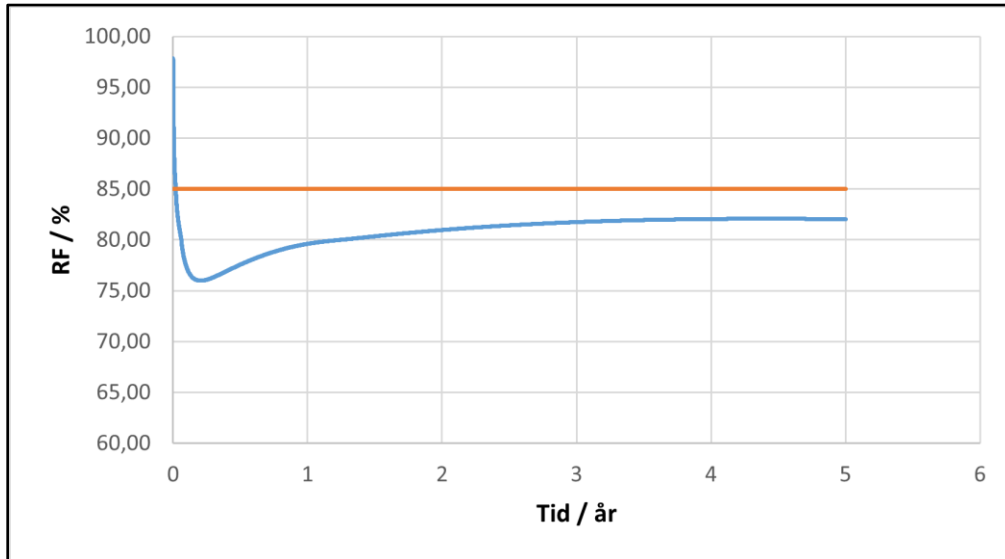
Fall 12



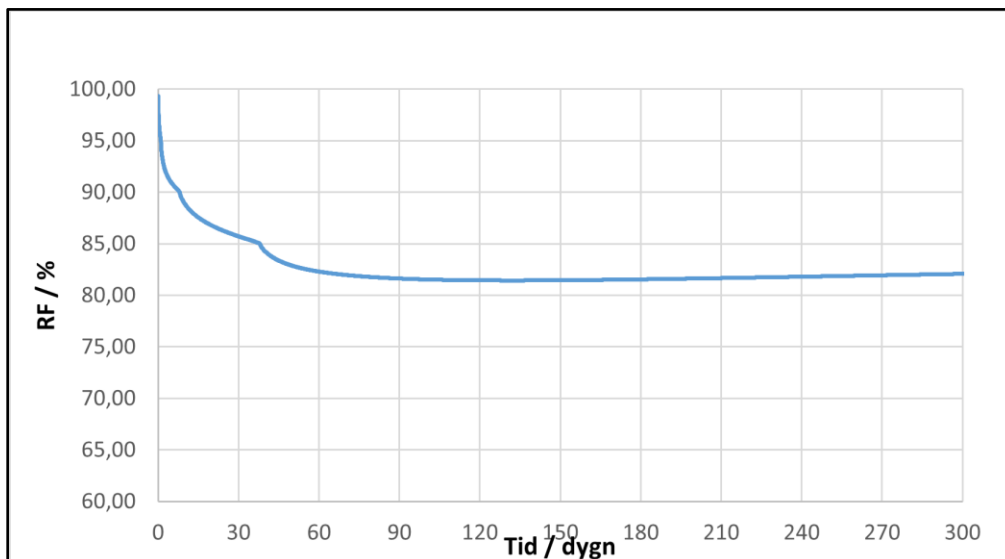
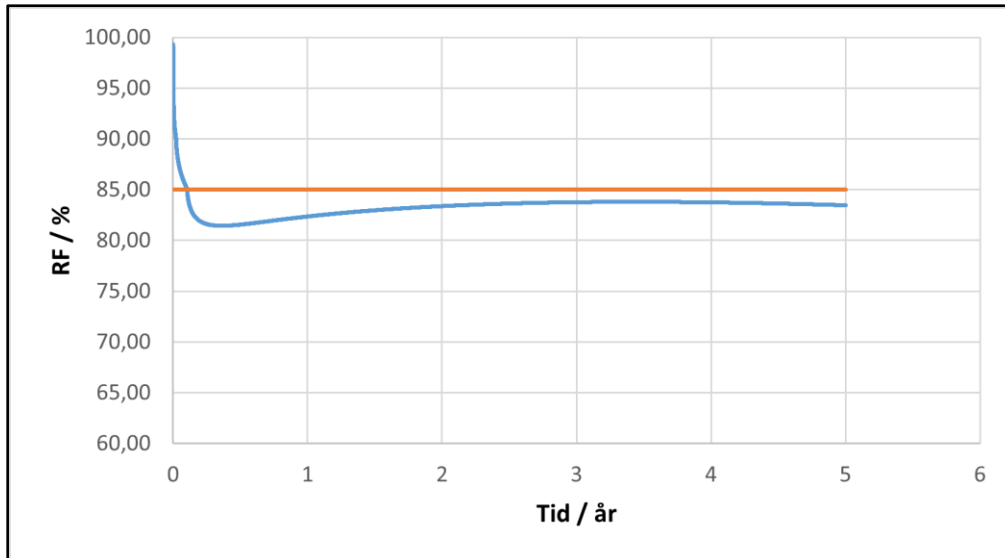
Fall 13



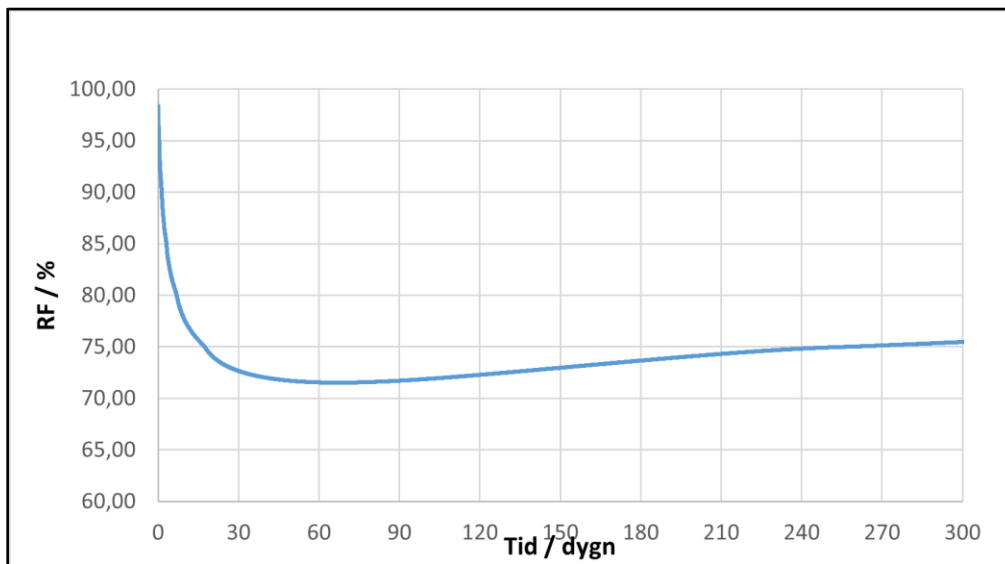
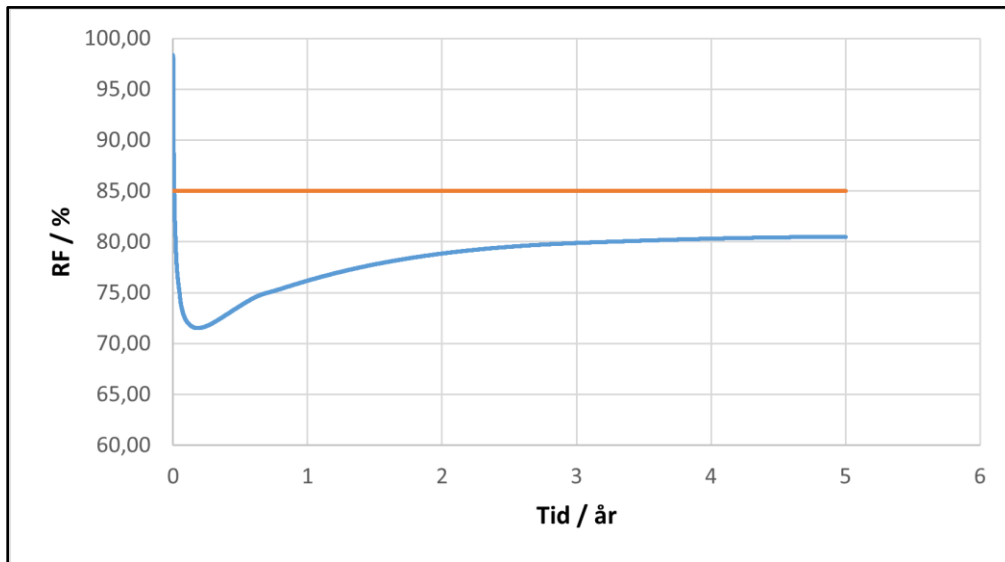
Fall 14



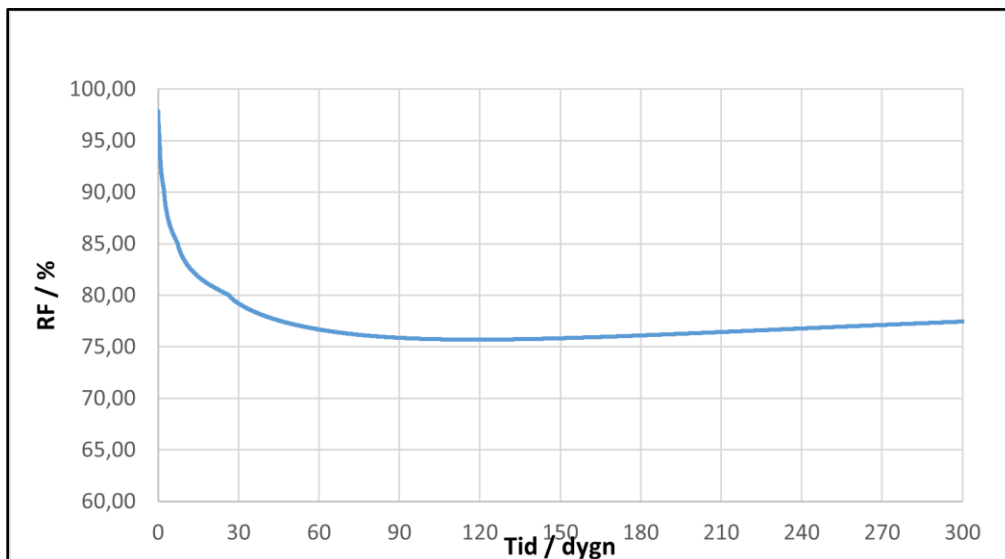
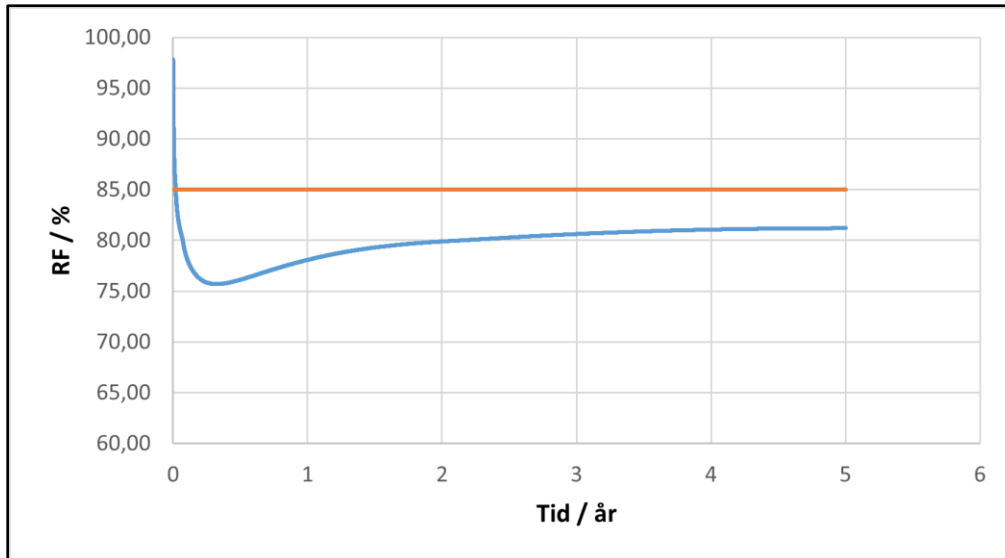
Fall 15



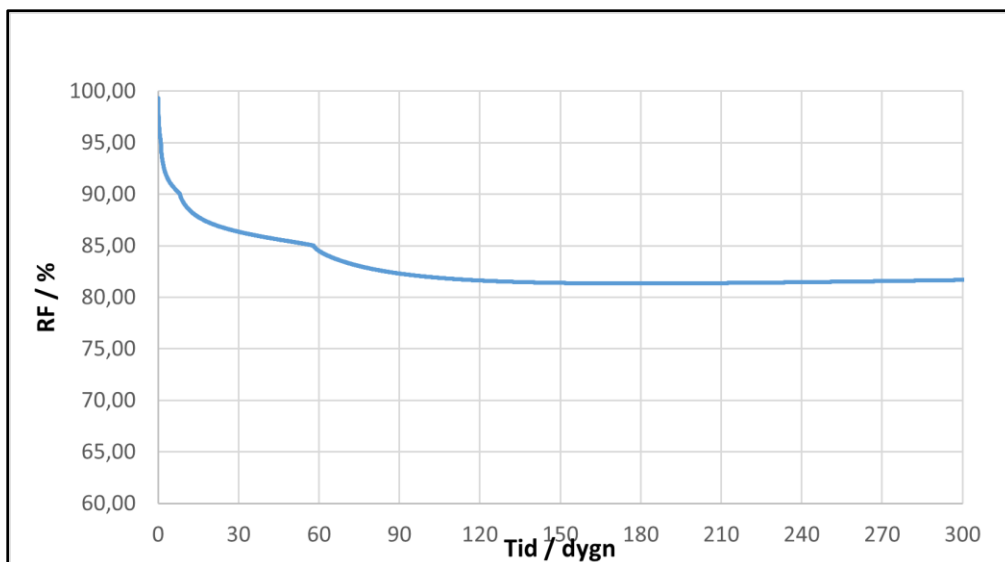
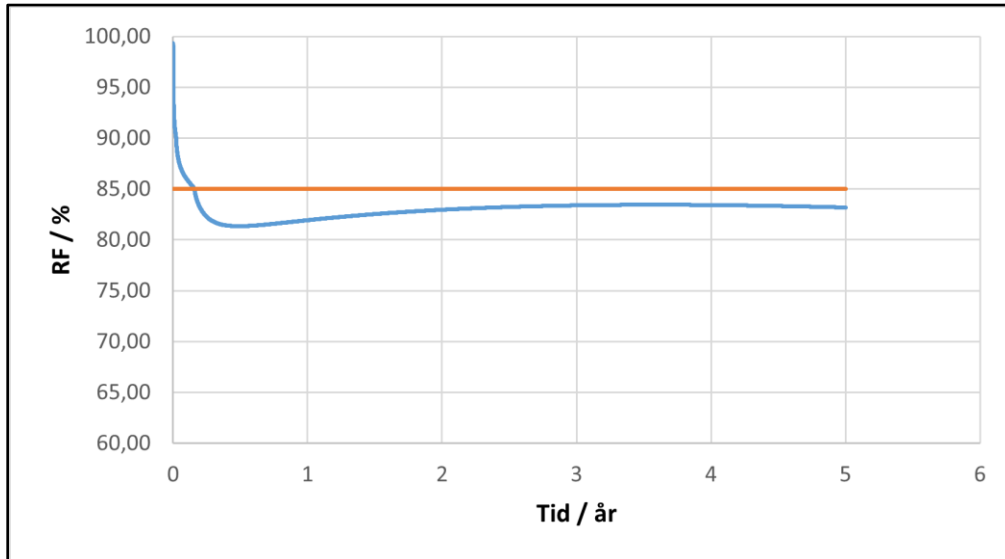
Fall 16



Fall 17



Fall 18



Projektdata

Projektnamn HDF 265

Projektnummer

Kund

Kontaktperson

Postnr/Ort

Adress

Tel.

Fax

E-post

Ansvarig

Kommentarer

Datum 2021-04-05

Randvillkor

Konstant temperatur: 20 °C
Konstant relativ fuktighet: 50 %

Utomhus (vänster sida)

Inomhusklimat: WTA-riktlinjer 6-2-01/E
Användardefinierad parameter till sinuskurva

Inomhus (höger sida)

Inomhusklimat: WTA-riktlinjer 6-2-01/E
Användardefinierad parameter till sinuskurva

Ytans övergångskoefficient

Utomhus (vänster sida)

Namn	Beskrivning	Enhet	Värde
Värmemotstånd - inkluderar långvågig strålning	Mellanvägg (inre)	[(m ² K)/W]	0.125 ja
Sd-värde	Ingen ytbehandling	[m]	----
Absorptionstal för kortvågig strålning	Ingen absorption/emission	[-]	----
Emissionstal för långvågig strålning	Ingen absorption/emission	[-]	----
Absorptionstal för regnvatten	Ingen rengvattenabsorption	[-]	----
Explicit strålningsbalans			nej

Inomhus (höger sida)

Namn	Beskrivning	Enhet	Värde
Värmemotstånd	Mellanvägg (inre)	[(m ² K)/W]	0.125
Sd-värde	Ingen ytbehandling	[m]	----

Resultat från senaste beräkning

Status för beräkning

Beräkning: Tid och datum	2021-05-26 09:58:48
Beräkningstid	1 min,35 sek.
Start / Slut på beräkning	2021-01-01 / 2026-01-01
Antal konvergensfel	0

Numerisk kvalitets-test

Integrerat flöde, vänster sida (kl,dl)	[kg/m ²]	0,0 -3,16
Integrerat flöde, höger sida (kl,dl)	[kg/m ²]	0,0 1,17
Balans 1	[kg/m ²]	-4,33
Balans 2	[kg/m ²]	-4,33

Vatteninnehåll [kg/m²]

	Start	Slut	Min.	Max.
Totalt vatteninnehåll	22,94	18,41	18,41	22,94

Vatteninnehåll [kg/m³]

Skikt/Material	Start	Slut	Min.	Max.
*Betong VCT 0,4, Hedenblad - DESO	87,50	56,81	56,81	87,50
*Betong VCT 0,4, Hedenblad - DESO	94,55	73,87	73,87	94,55
*Betong VCT 0,4, Hedenblad - DESO	94,55	79,46	79,46	94,55
*Betong VCT 0,4, Hedenblad - DESO	94,16	79,49	79,49	94,16
*Betong VCT 0,4, Hedenblad - DESO	93,77	79,34	79,34	93,77
*Betong VCT 0,4, Hedenblad - DESO	93,36	79,03	79,03	93,38
*Betong VCT 0,4, Hedenblad - DESO	93,01	78,56	78,56	93,01
*Betong VCT 0,4, Hedenblad - DESO	92,62	77,93	77,93	92,62
*Betong VCT 0,4, Hedenblad - DESO	91,51	77,37	77,37	91,53
*Betong VCT 0,4, Hedenblad - DESO	90,65	76,95	76,95	90,65
*Betong VCT 0,4, Hedenblad - DESO	88,64	76,68	76,68	88,65
*Betong VCT 0,4, Hedenblad - DESO	86,44	76,59	76,59	87,59
*Betong VCT 0,4, Hedenblad - DESO	87,55	76,49	76,49	87,55
*Betong VCT 0,4, Hedenblad - DESO	85,33	76,40	76,40	85,55
*Betong VCT 0,4, Hedenblad - DESO	84,23	76,30	76,30	84,45
*Betong VCT 0,4, Hedenblad - DESO	83,12	76,20	76,20	83,55
*Betong VCT 0,4, Hedenblad - DESO	82,03	76,10	76,10	82,70
*Betong VCT 0,4, Hedenblad - ABSO	46,22	40,99	40,99	47,50
*Betong VCT 0,4, Hedenblad - ABSO	44,87	40,89	40,89	46,67
*Betong VCT 0,4, Hedenblad - ABSO	44,14	40,78	40,78	46,22
*Betong VCT 0,4, Hedenblad - ABSO	43,40	40,46	40,46	45,13
*Betong VCT 0,4, Hedenblad - ABSO	40,13	39,88	39,88	44,13

Vatteninnehåll [kg/m³] (Fortsätt)

Skikt/Material	Start	Slut	Min.	Max.
*Betong VCT 0,4, Hedenblad - ABSO	36,86	39,26	36,86	43,28
*Betong VCT 0,4, Hedenblad - ABSO	34,51	38,60	34,51	42,43
*Betong VCT 0,4, Hedenblad - ABSO	33,36	37,89	33,36	41,57
*Betong VCT 0,4, Hedenblad - ABSO	32,21	37,13	32,21	40,69
*Betong VCT 0,4, Hedenblad - ABSO	31,07	36,33	31,07	39,79
*55,5 % abs scanning Avjämningsmas	12,96	13,86	12,96	15,76
*55,5 % abs scanning Avjämningsmas	112,96	13,74	13,74	112,96
*Plastmatta Z: 500 000 s/m	0,00	0,00	0,00	0,00

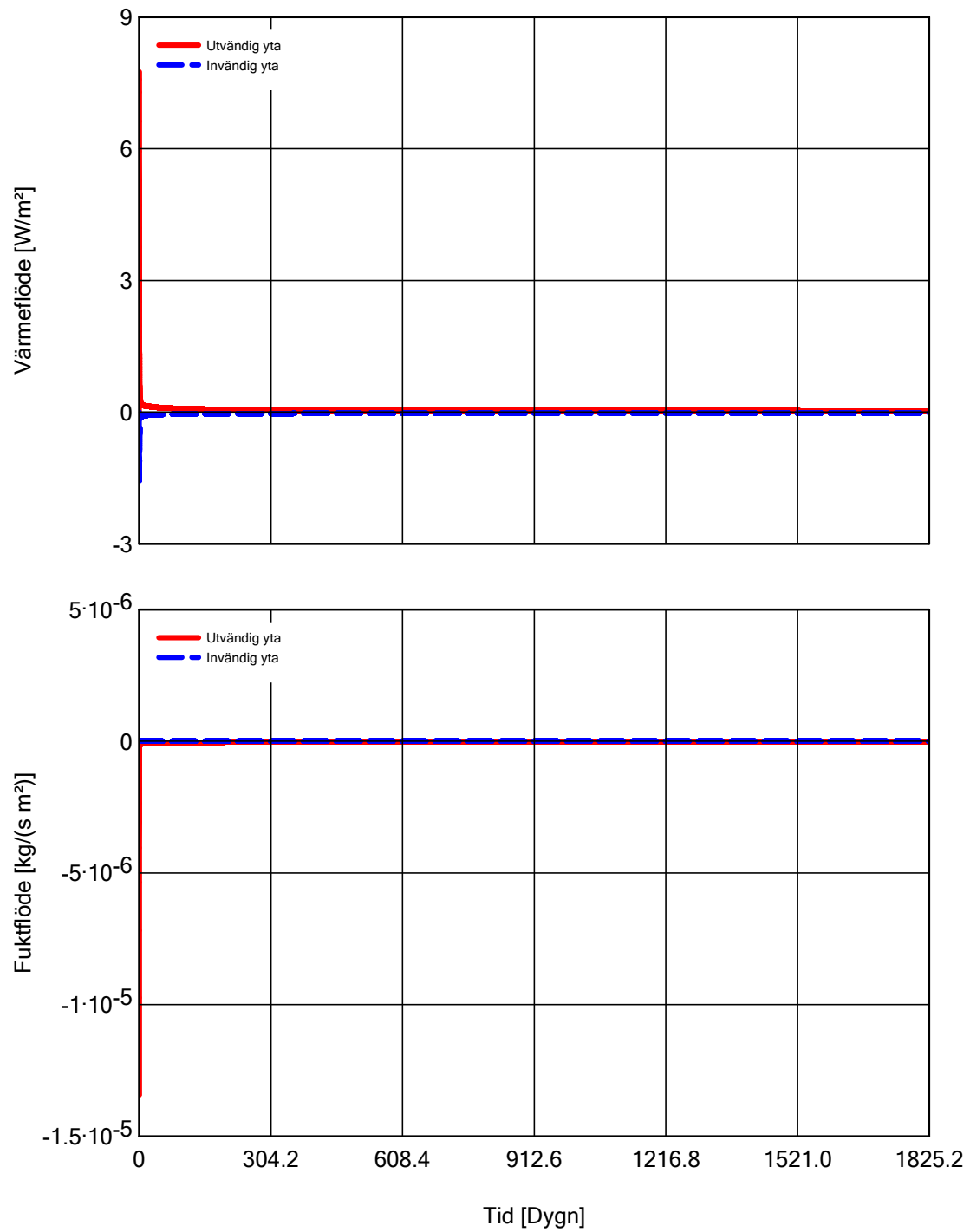
Tidsintegral för strömningstäthet

Värmeflödestäthet, vänster sida	[MJ/m²]	6,38
Värmeflödestäthet, höger sida	[MJ/m²]	-4,7
Fuktföde, vänster sida	[kg/m²]	-3,35
Fuktföde, höger sida	[kg/m²]	1,17

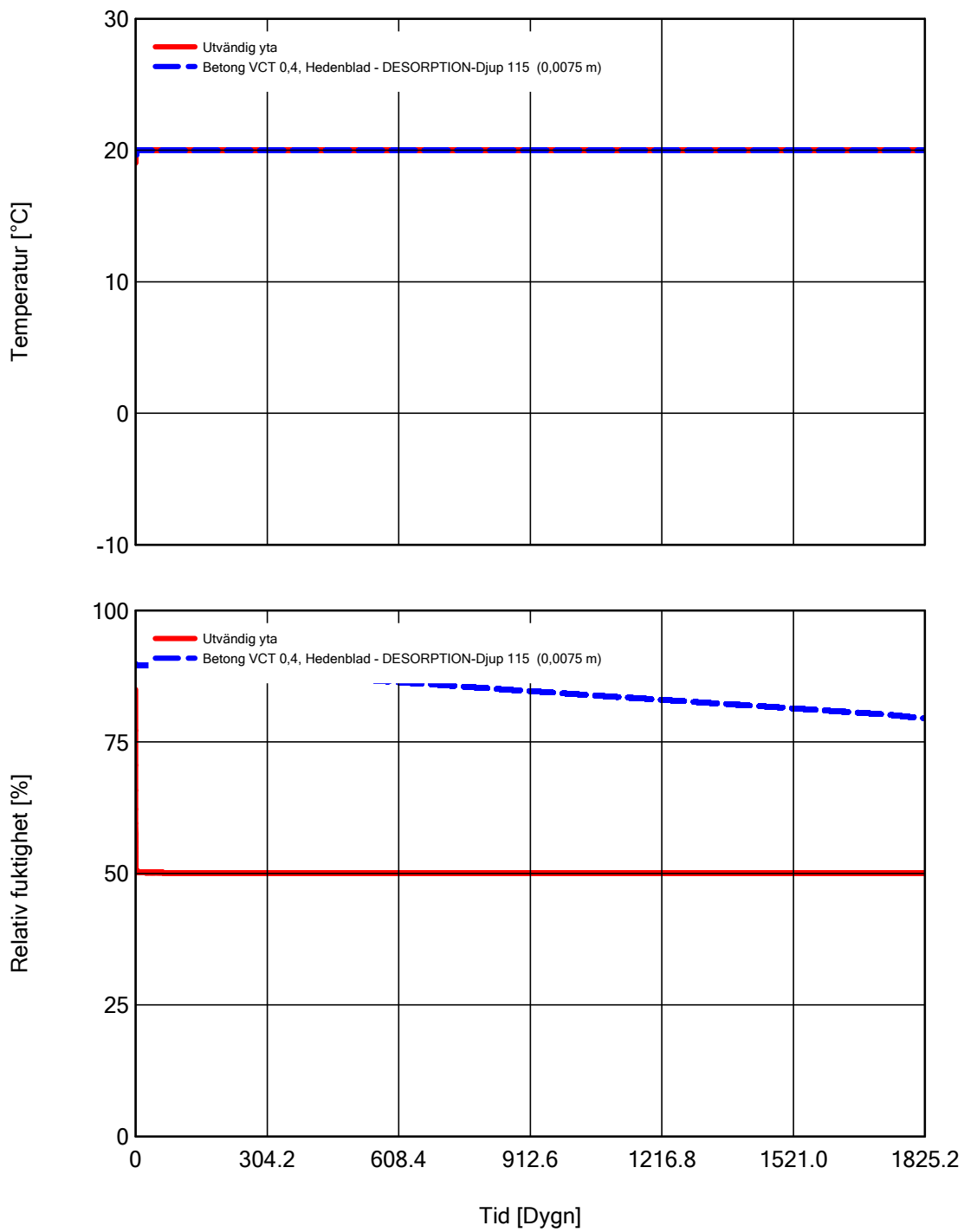
Hygrotermiska källor

Värmekällor	[MJ/m²]	0,0
Fuktkällor	[kg/m²]	0,0
Kapade fuktkällor	[kg/m²]	0,0

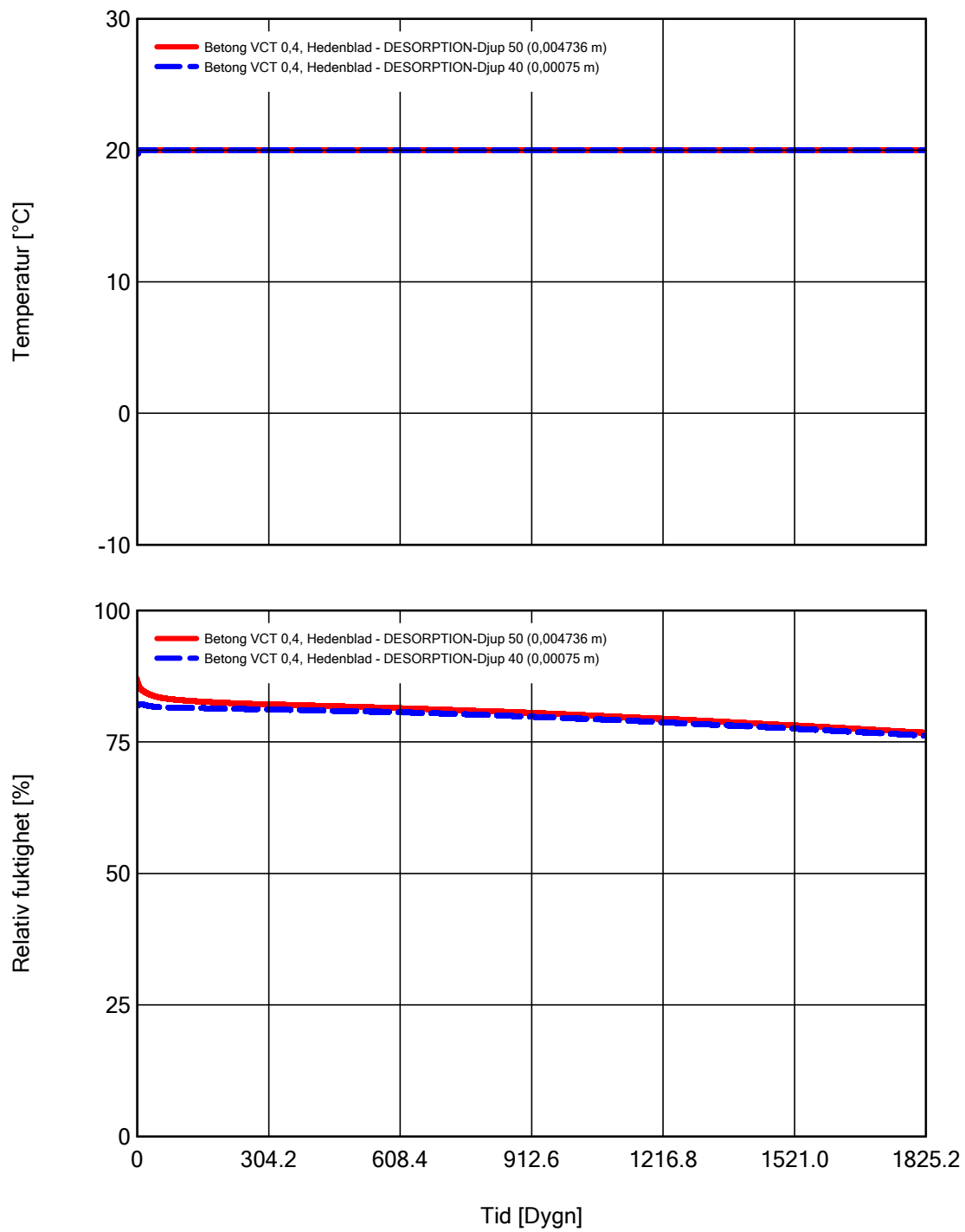
Värme-, Fuktflöde



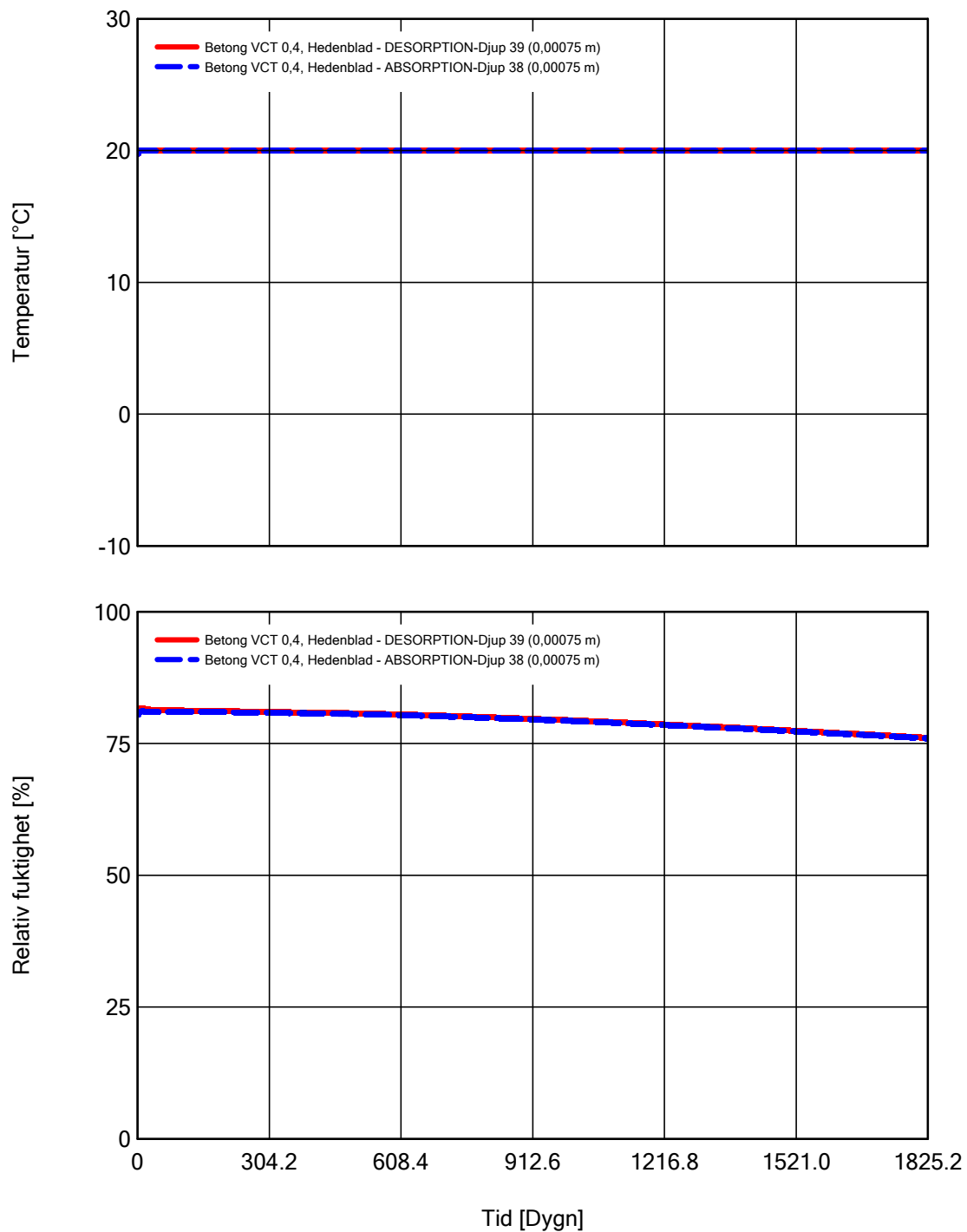
Temperatur, RF (Monitorposition 1, 2)



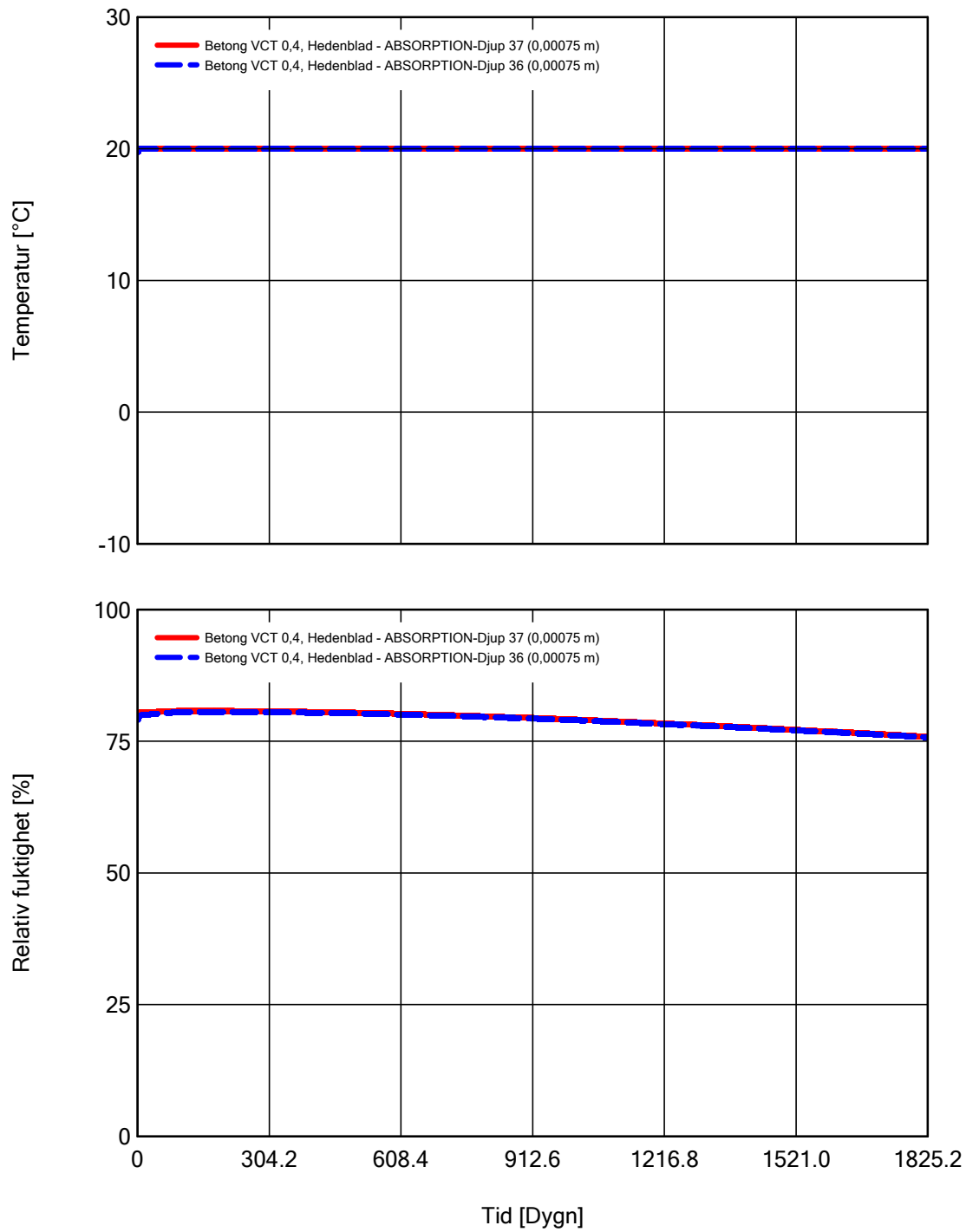
Temperatur, RF (Monitorposition 3, 4)



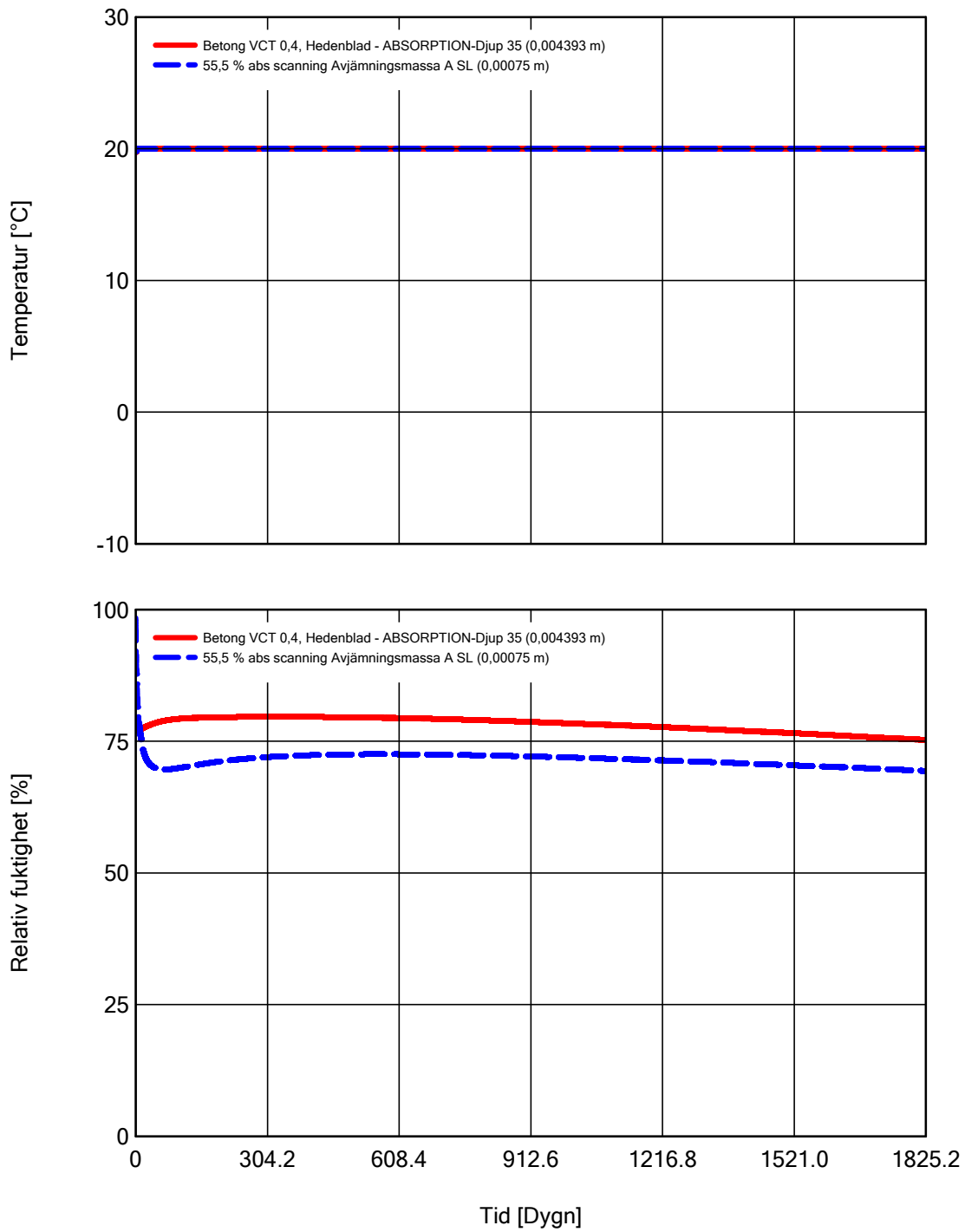
Temperatur, RF (Monitorposition 5, 6)



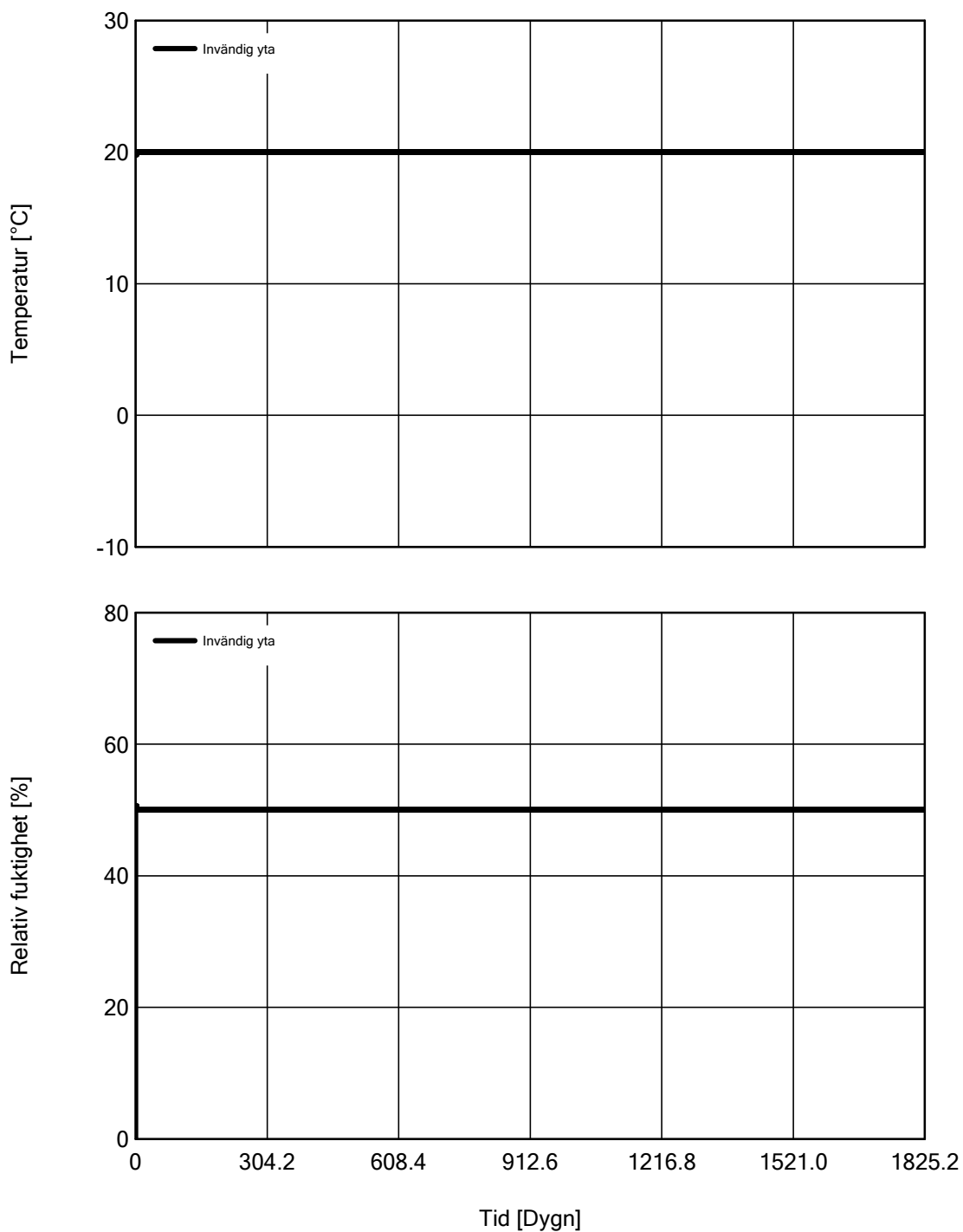
Temperatur, RF (Monitorposition 7, 8)



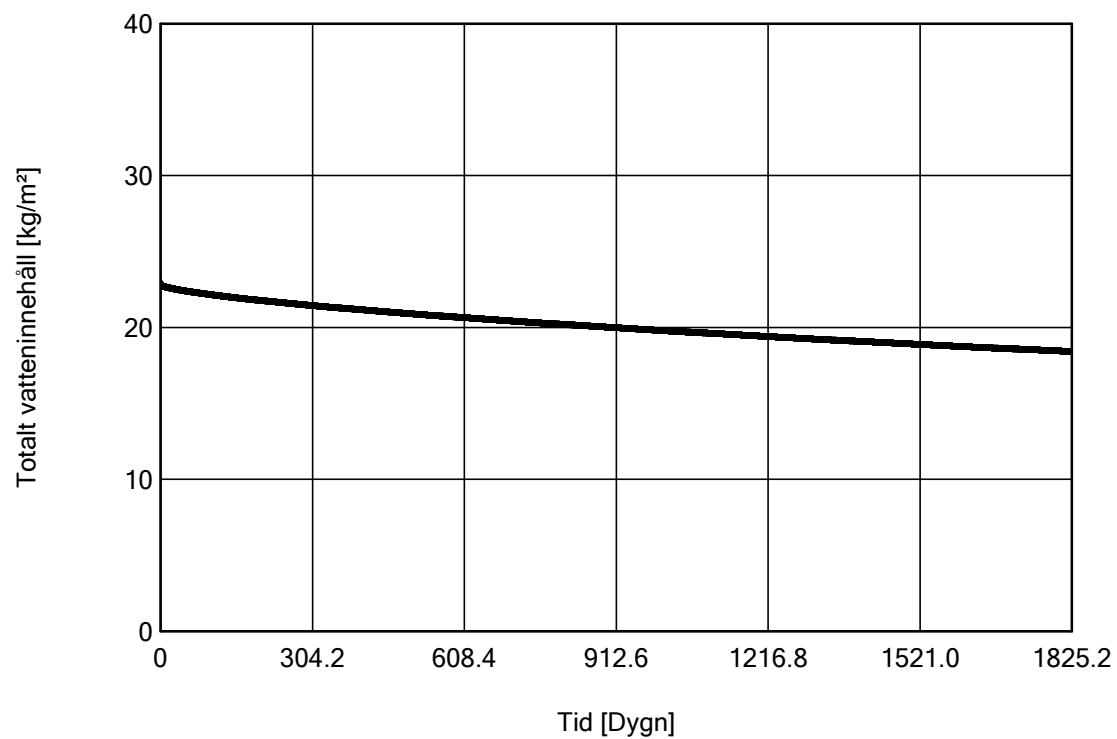
Temperatur, RF (Monitorposition 9, 10)



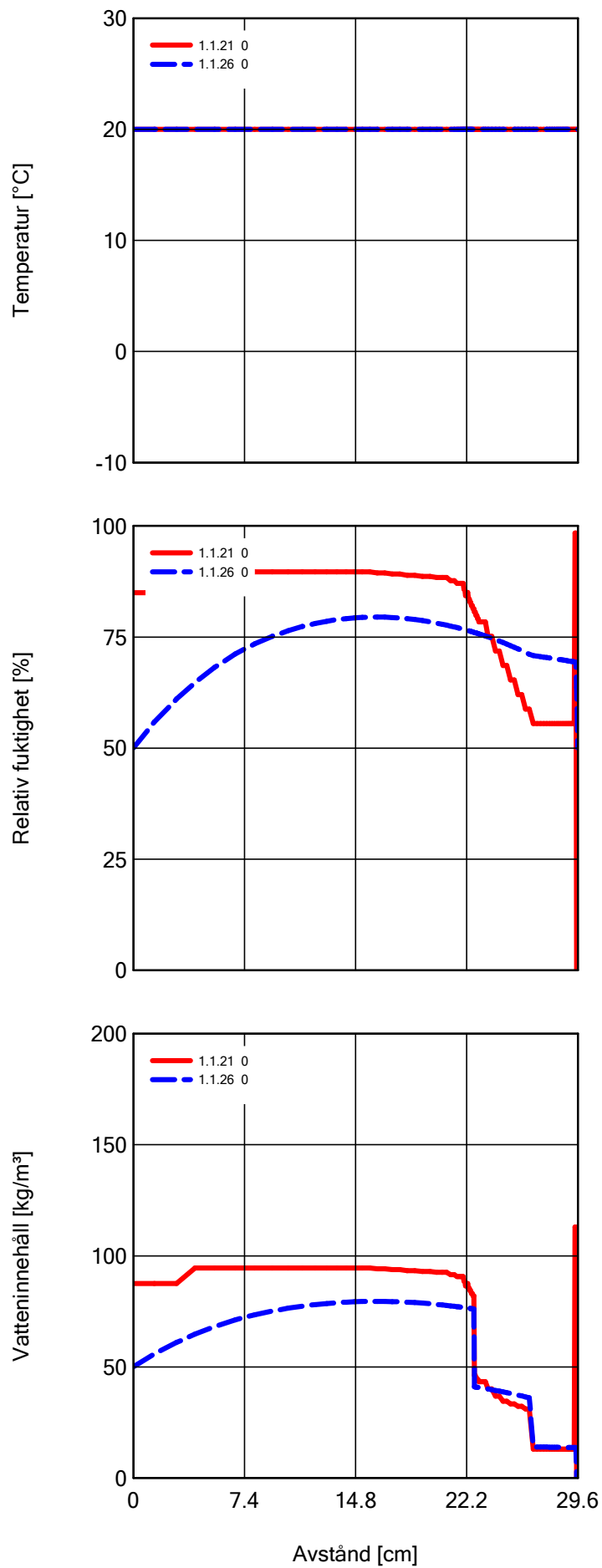
Temperatur, RF (Monitorposition 11)



Totalt vatteninnehåll i konstruktionen



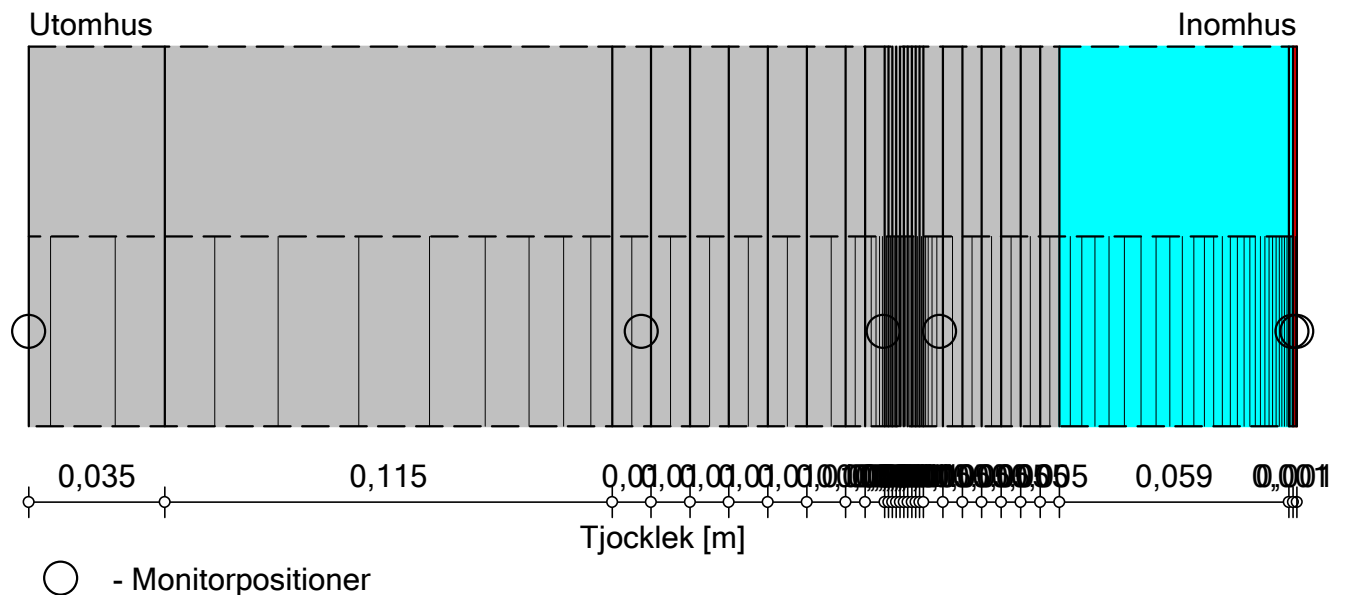
Profiler



BC 14

Konstruktionsuppbyggnad

Fall: Z 5 000 000, 60 mm, 80%



Material:

	- *Betong VCT 0,4, Hedenblad - DESORPTION-Djup 265	0,035 m
	- *Betong VCT 0,4, Hedenblad - DESORPTION-Djup 230	0,115 m
	- *Betong VCT 0,4, Hedenblad - DESORPTION-Djup 115	0,01 m
	- *Betong VCT 0,4, Hedenblad - DESORPTION-Djup 105	0,01 m
	- *Betong VCT 0,4, Hedenblad - DESORPTION-Djup 95	0,01 m
	- *Betong VCT 0,4, Hedenblad - DESORPTION-Djup 85	0,01 m
	- *Betong VCT 0,4, Hedenblad - DESORPTION-Djup 75	0,01 m
	- *Betong VCT 0,4, Hedenblad - DESORPTION-Djup 65	0,01 m
	- *Betong VCT 0,4, Hedenblad - DESORPTION-Djup 55	0,005 m
	- *Betong VCT 0,4, Hedenblad - DESORPTION-Djup 50	0,005 m
	- *Betong VCT 0,4, Hedenblad - DESORPTION-Djup 45	0,001 m
	- *Betong VCT 0,4, Hedenblad - DESORPTION-Djup 44	0,001 m
	- *Betong VCT 0,4, Hedenblad - DESORPTION-Djup 43	0,001 m
	- *Betong VCT 0,4, Hedenblad - DESORPTION-Djup 42	0,001 m
	- *Betong VCT 0,4, Hedenblad - DESORPTION-Djup 41	0,001 m
	- *Betong VCT 0,4, Hedenblad - DESORPTION-Djup 40	0,001 m
	- *Betong VCT 0,4, Hedenblad - DESORPTION-Djup 39	0,001 m
	- *Betong VCT 0,4, Hedenblad - ABSORPTION-Djup 38	0,001 m
	- *Betong VCT 0,4, Hedenblad - ABSORPTION-Djup 37	0,001 m
	- *Betong VCT 0,4, Hedenblad - ABSORPTION-Djup 36	0,001 m
	- *Betong VCT 0,4, Hedenblad - ABSORPTION-Djup 35	0,005 m
	- *Betong VCT 0,4, Hedenblad - ABSORPTION-Djup 30	0,005 m
	- *Betong VCT 0,4, Hedenblad - ABSORPTION-Djup 25	0,005 m
	- *Betong VCT 0,4, Hedenblad - ABSORPTION-Djup 20	0,005 m
	- *Betong VCT 0,4, Hedenblad - ABSORPTION-Djup 15	0,005 m
	- *Betong VCT 0,4, Hedenblad - ABSORPTION-Djup 10	0,005 m
	- *Betong VCT 0,4, Hedenblad - ABSORPTION -djup 5	0,005 m
	- *80 % abs scanning Avjämningsmassa A SL	0,059 m
	- *80 % abs scanning Avjämningsmassa A SL	0,001 m
	- *Plastmatta Z: 5 000 000 s/m	0,001 m

Total tjocklek: 0,326 m

Värmegenomgångsmotstånd: 0,19 (m² K)/WU-värde: 2,264 W/(m² K)

BC 15

Resultat från senaste beräkning

Status för beräkning

Beräkning: Tid och datum	2021-05-26 10:18:46
Beräkningstid	1 min,0 sek.
Start / Slut på beräkning	2021-01-01 / 2026-01-01
Antal konvergensfel	0

Numerisk kvalitets-test

Integrerat flöde, vänster sida (kl,dl)	[kg/m ²]	0,0 -3,17
Integrerat flöde, höger sida (kl,dl)	[kg/m ²]	0,0 0,18
Balans 1	[kg/m ²]	-3,34
Balans 2	[kg/m ²]	-3,34

Vatteninnehåll [kg/m²]

	Start	Slut	Min.	Max.
Totalt vatteninnehåll	24,58	21,03	21,03	24,58

Vatteninnehåll [kg/m³]

Skikt/Material	Start	Slut	Min.	Max.
*Betong VCT 0,4, Hedenblad - DESO	87,50	57,00	57,00	87,50
*Betong VCT 0,4, Hedenblad - DESO	94,55	75,53	75,53	94,55
*Betong VCT 0,4, Hedenblad - DESO	94,55	83,82	83,82	94,55
*Betong VCT 0,4, Hedenblad - DESO	94,16	84,48	84,48	94,16
*Betong VCT 0,4, Hedenblad - DESO	93,77	85,00	85,00	93,77
*Betong VCT 0,4, Hedenblad - DESO	93,36	85,39	85,39	93,38
*Betong VCT 0,4, Hedenblad - DESO	93,01	85,68	85,68	93,01
*Betong VCT 0,4, Hedenblad - DESO	92,62	85,86	85,86	92,62
*Betong VCT 0,4, Hedenblad - DESO	91,51	85,95	85,95	91,52
*Betong VCT 0,4, Hedenblad - DESO	90,65	85,98	85,98	90,65
*Betong VCT 0,4, Hedenblad - DESO	88,64	86,00	86,00	88,65
*Betong VCT 0,4, Hedenblad - DESO	86,44	86,00	86,00	87,59
*Betong VCT 0,4, Hedenblad - DESO	87,55	86,00	85,80	87,55
*Betong VCT 0,4, Hedenblad - DESO	85,33	86,00	85,30	87,31
*Betong VCT 0,4, Hedenblad - DESO	84,23	86,00	84,23	87,26
*Betong VCT 0,4, Hedenblad - DESO	83,12	86,00	83,12	87,21
*Betong VCT 0,4, Hedenblad - DESO	82,03	86,00	82,03	87,16
*Betong VCT 0,4, Hedenblad - ABSO	46,22	53,00	46,22	54,49
*Betong VCT 0,4, Hedenblad - ABSO	44,87	53,00	44,87	54,43
*Betong VCT 0,4, Hedenblad - ABSO	44,14	53,00	44,14	54,37
*Betong VCT 0,4, Hedenblad - ABSO	43,40	52,98	43,40	54,21
*Betong VCT 0,4, Hedenblad - ABSO	43,86	52,93	43,78	53,97

Vatteninnehåll [kg/m³] (Fortsätt)

Skikt/Material	Start	Slut	Min.	Max.
*Betong VCT 0,4, Hedenblad - ABSO	43,86	52,86	43,86	53,75
*Betong VCT 0,4, Hedenblad - ABSO	44,09	52,77	44,09	53,54
*Betong VCT 0,4, Hedenblad - ABSO	44,31	52,66	44,31	53,35
*Betong VCT 0,4, Hedenblad - ABSO	44,54	52,53	44,54	53,16
*Betong VCT 0,4, Hedenblad - ABSO	44,77	52,37	44,77	52,96
*80 % abs scanning Avjämningsmass	29,05	29,61	29,05	30,57
*80 % abs scanning Avjämningsmass	129,05	29,57	29,27	129,05
*Plastmatta Z: 5 000 000 s/m	0,00	0,00	0,00	0,00

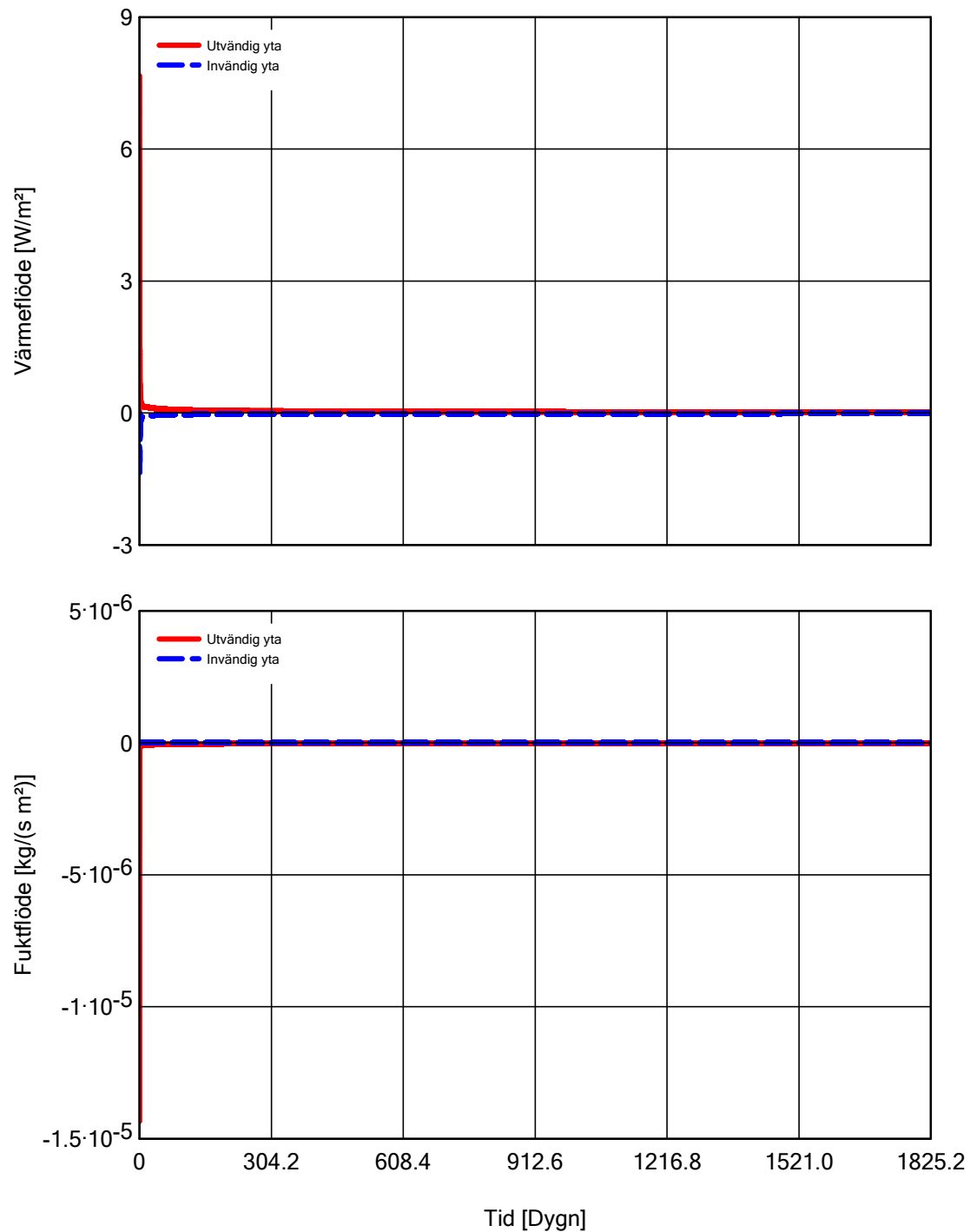
Tidsintegral för strömningstäthet

Värmeflödestäthet, vänster sida	[MJ/m²]	5,45
Värmeflödestäthet, höger sida	[MJ/m²]	-3,25
Fuktföde, vänster sida	[kg/m²]	-3,38
Fuktföde, höger sida	[kg/m²]	0,18

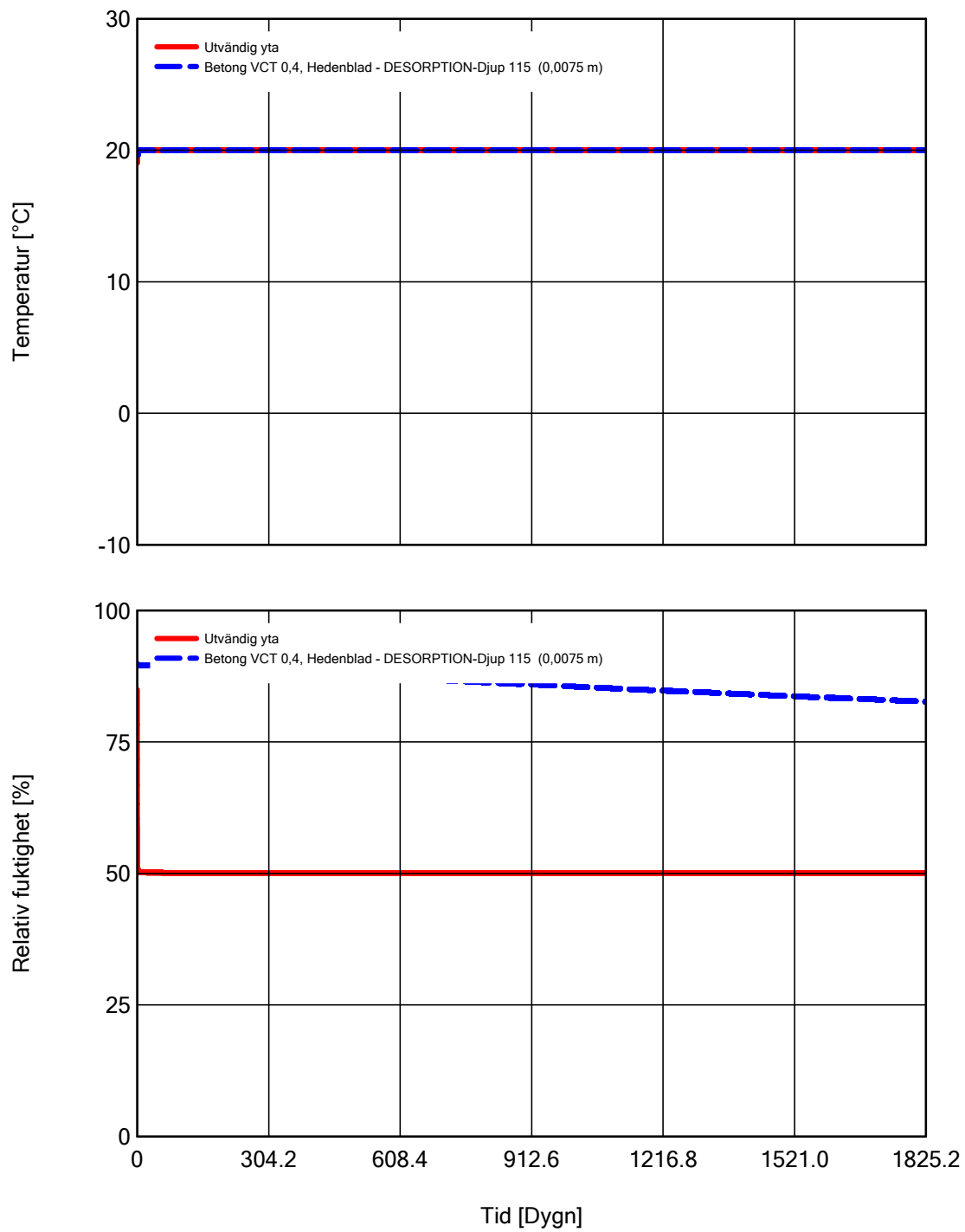
Hygrotermiska källor

Värmekällor	[MJ/m²]	0,0
Fuktkällor	[kg/m²]	0,0
Kapade fuktkällor	[kg/m²]	0,0

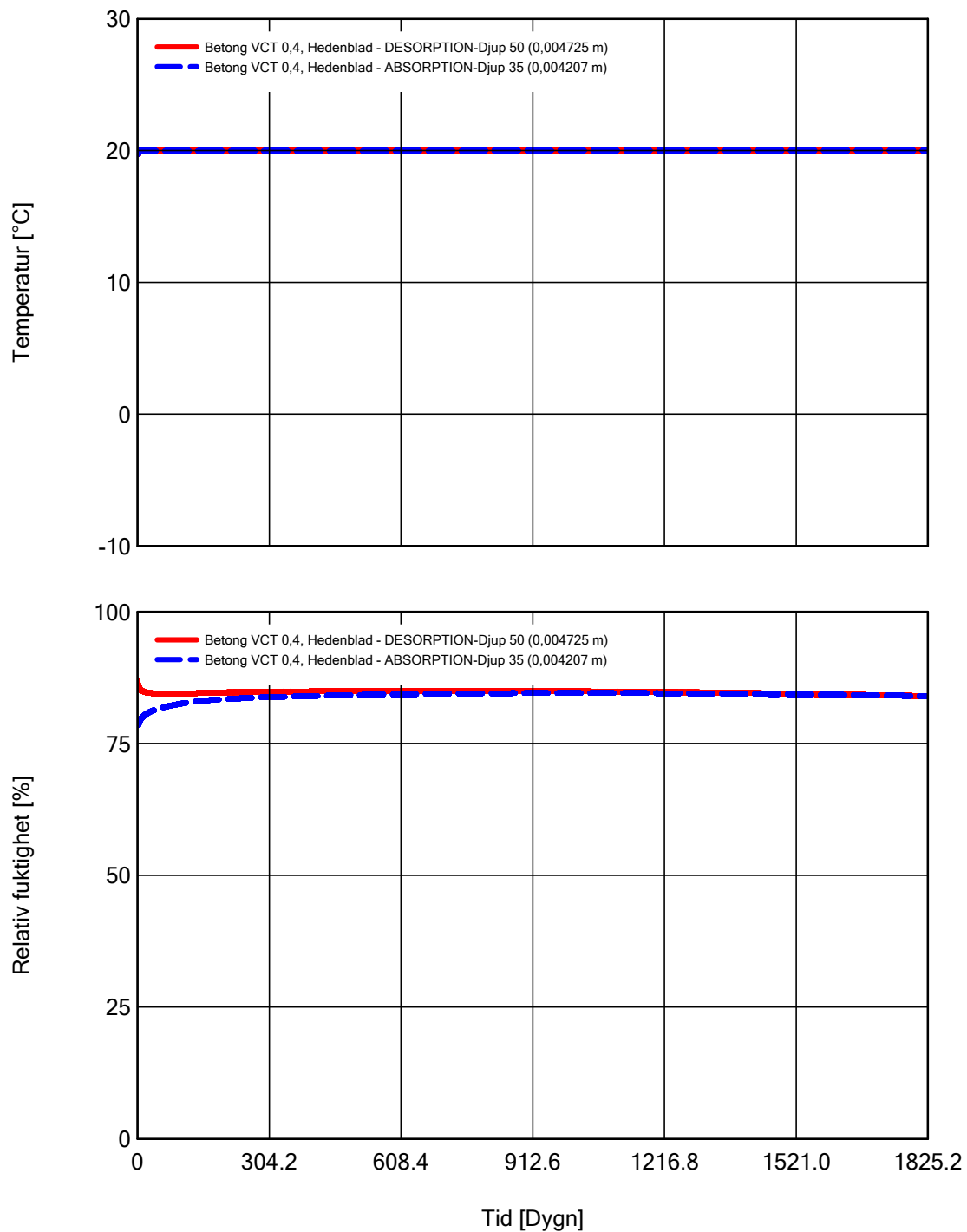
Värme-, Fuktflöde



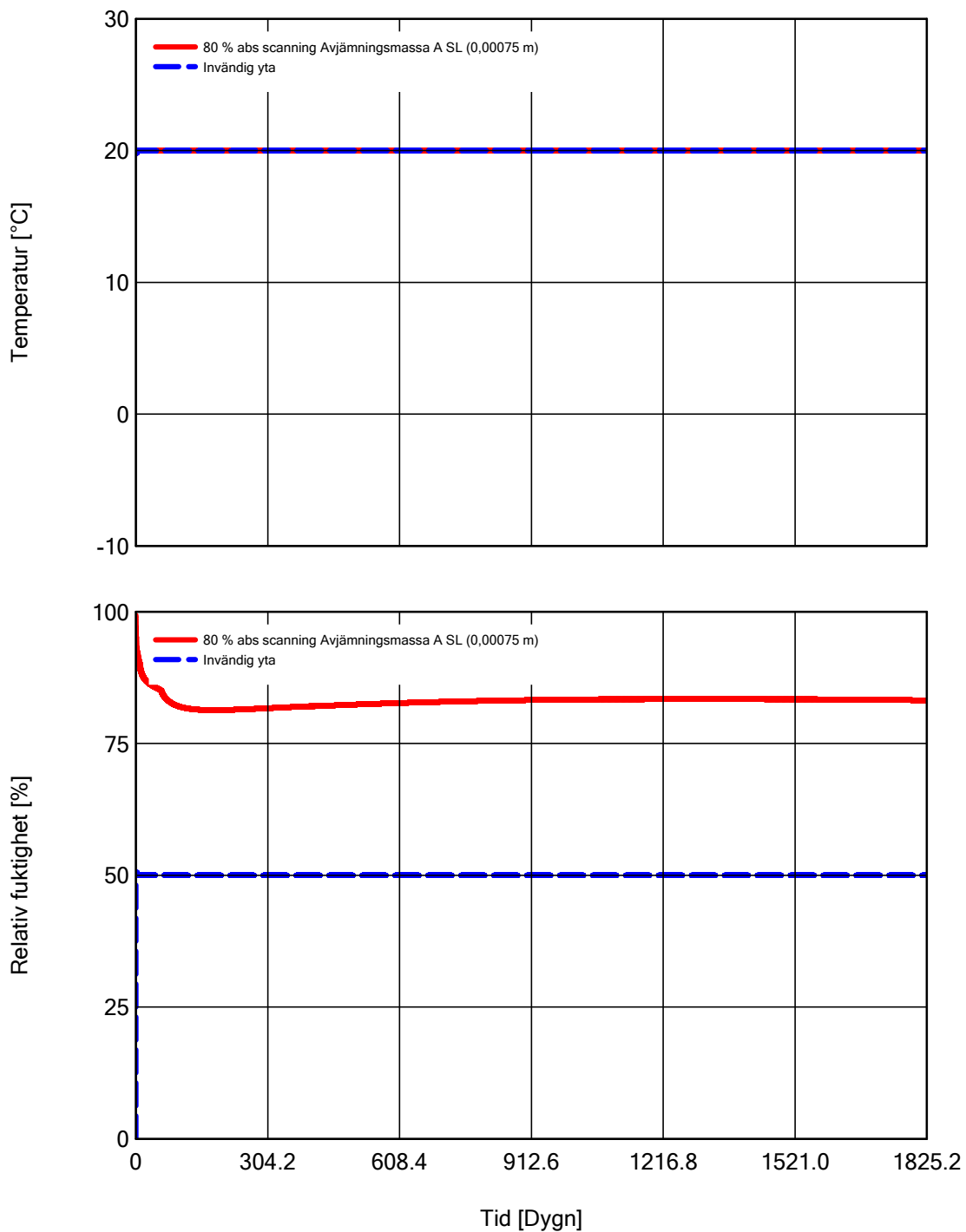
Temperatur, RF (Monitorposition 1, 2)



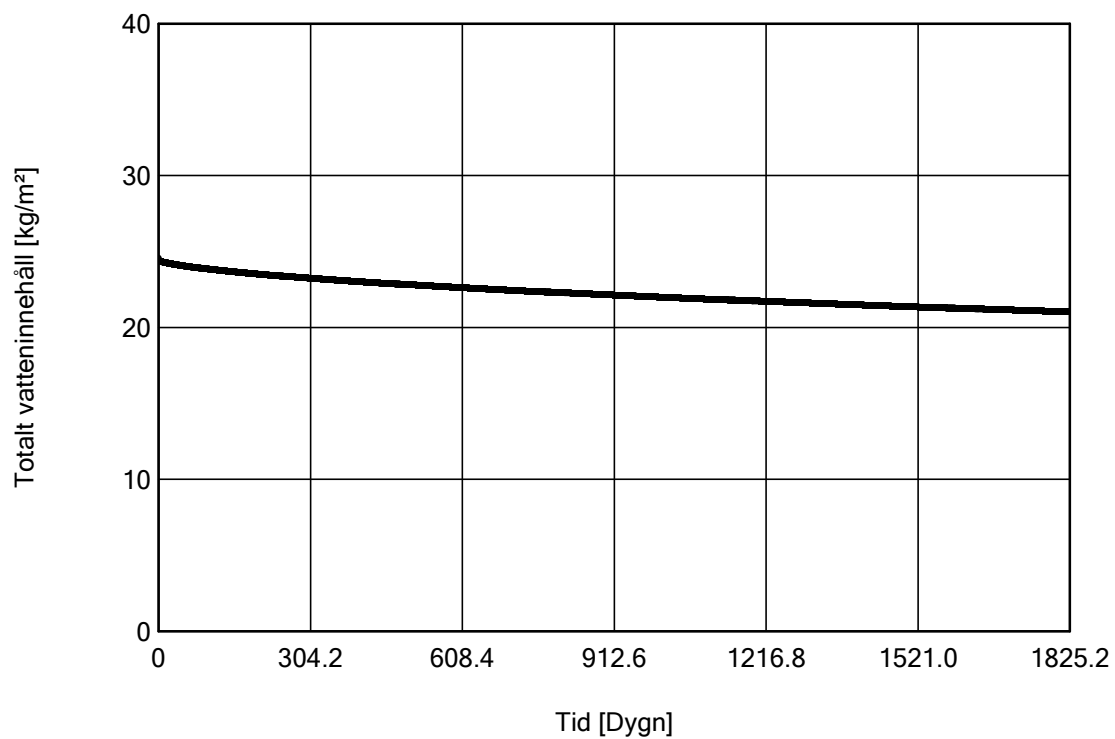
Temperatur, RF (Monitorposition 3, 4)



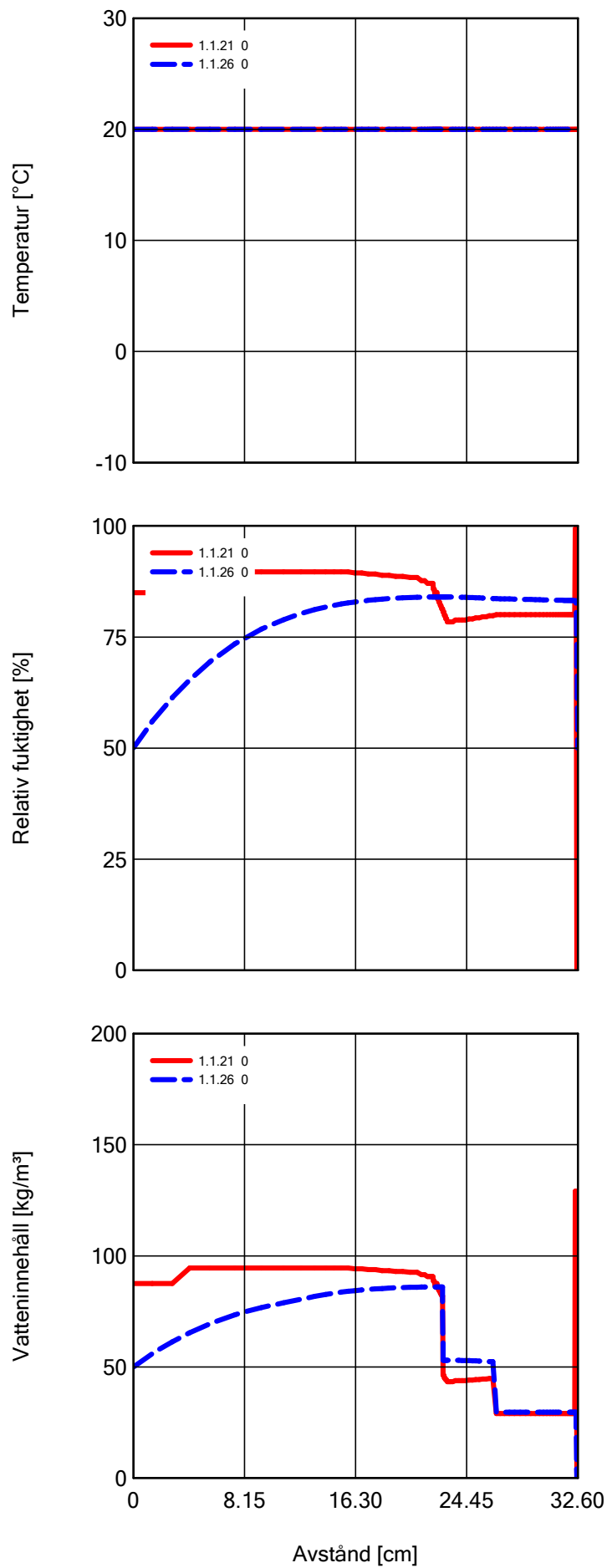
Temperatur, RF (Monitorposition 5, 6)



Totalt vatteninnehåll i konstruktionen



Profiler



BC 23