



LUND UNIVERSITY

Undersökning av vatteninträngning i tilläggsisoleringsystem av mineralull och tjockputs Resultat från laboratoriestudier

Jönsson, Johan; Rosenkvist, Per-Olof; Molnár, Miklós

2016

Document Version:
Förlagets slutgiltiga version

[Link to publication](#)

Citation for published version (APA):

Jönsson, J., Rosenkvist, P.-O., & Molnár, M. (2016). *Undersökning av vatteninträngning i tilläggsisoleringsystem av mineralull och tjockputs: Resultat från laboratoriestudier*. (TVBK-3068). Lunds tekniska högskola, Avdelningen för konstruktionsteknik.

Total number of authors:
3

Creative Commons License:
Ospecificerad

General rights

Unless other specific re-use rights are stated the following general rights apply:

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

Read more about Creative commons licenses: <https://creativecommons.org/licenses/>

Take down policy

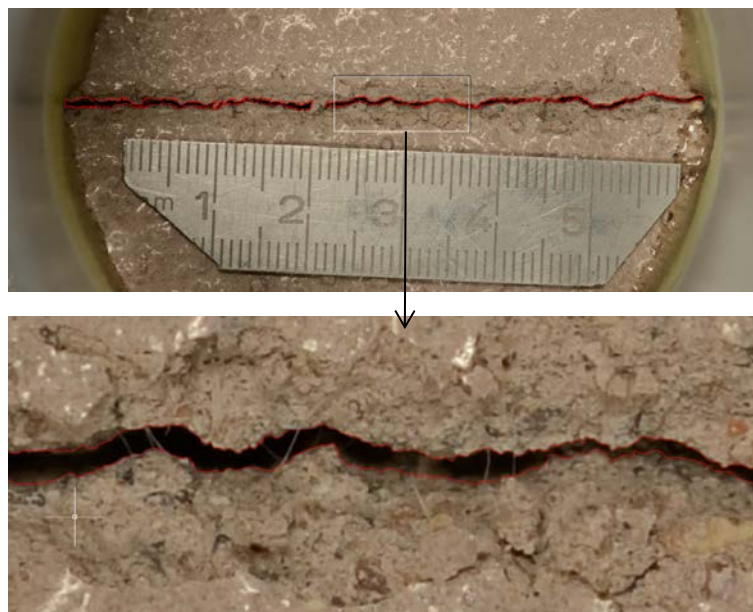
If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

LUND UNIVERSITY

PO Box 117
221 00 Lund
+46 46-222 00 00

Undersökning av vatteninträngning i tilläggsisoleringsystem av mineralull och tjockputs

Resultat från laboratoriestudier



Johan Jönsson, Per-Olof Rosenkvist, Miklós Molnár



LUNDS TEKNISKA
HÖGSKOLA
Lunds universitet



Rapport TVBK-3068

ISBN 978-91-87993-07-7

Lunds tekniska högskola

Avdelningen för konstruktionsteknik

Box 118

221 00 LUND

2016

Förord

Föreliggande rapport är framtagen inom forskningsprojektet ”Uppgradering av den befintliga bebyggelsens energiprestanda - med inriktning på klimatskalet i rekordårens flerbostadshus”. Forskningen genomfördes vid Lunds tekniska högskola under perioden 2013-2016.

De i Sverige mycket uppmärksammade fuktskador som har drabbat många enstegstätade fasader har visat att slagregn kan tränga in genom tilläggsisoleringsystem bestående av puts på isolering [1,2]. Utöver fuktskador kan inträngande vatten leda till försämrade energiprestanda [3].

Bedömningar av tilläggsisoleringsystems förmåga att motstå vatteninträngning från slagregn och vattenstänk som enbart är baserade på teoretiska analyser och beräkningar har i många fall visat sig leda till missbedömningar. I föreliggande rapport presenteras resultat från laboratoriestudier av vatteninträngning i tilläggsisoleringsystem bestående av tjockputs på mineralull.

Resultaten kan i framtiden användas för att effektivare uppskatta den mängd vatten som kan tränga in genom sprickor och glipor i tilläggsisoleringsystem. Med hjälp av denna kunskap kan mer träffsäkra analyser och beräkningar genomföras av risken för såväl fuktskador som för eventuella försämringar av energiprestandan på grund av fuktiga ytterväggar.

Ett stort tack riktas till finansiärerna samt alla de forskare och industrirepresentanter som har bidragit till genomförandet av projektet.

Lund i december 2016

Johan Jönsson, LTH Konstruktionsteknik
Per-Olof Rosenkvist, LTH Konstruktionsteknik
Miklós Molnár, LTH Konstruktionsteknik

Finansiering och organisation

Forskningsprojektet "Uppgradering av den befintliga bebyggelsens energiprestanda - med inriktning på klimatskalet i rekordårens flerbostadshus" har finansierats av Energimyndigheten genom projektanslag nummer 37582-1. Samfinansiering har tillförts genom följande företag och organisationer:

- AF Bostäder i Lund
- Akademiska hus i Lund
- BF Balkongbranschens Service AB
- Glastjänster för GBF AB
- Karling Fasad AB
- Malmö stad
- Paras Bygg AB
- Swedisol Service AB
- Svensk Planglasförenings Service AB
- Thage Andersson Byggnads AB
- Tomas Gustavsson konstruktioner AB
- Weber Saint Gobain Byggprodukter AB

Forskningsprojektet genomfördes i form av följande tre arbetspaket:

- A. Tilläggsisoleringsystem av mineralull och puts;
- B. Murade fasader med korroderande armering
- C. Inglasning som ny klimatskärm

Föreliggande rapport summerar resultat från laboratoriestudier som genomfördes i arbetspaket A. Forskarna som har varit aktiva i arbetspaket A kommer från LTHs avdelning för konstruktionsteknik:

- Johan Jönsson (ansvarig för arbetspaket A)
- Per-Olof Rosenkvist
- Oskar Ranefjärd
- Miklós Molnár (projektledare).

Forskare som deltog i projektets två övriga arbetspaket:

- Birgitta Nordquist, LTH Installationsteknik
- Petter Wallentén, LTH Byggnadsfysik
- Kimmo Hilliaho, Tampere universitet, Finland
- Oskar Larsson Ivanov, LTH Konstruktionsteknik
- Åke Blomsterberg, LTH Energi- och byggnadsdesign.

Speciellt tack riktas till medlemmarna i projektets referensgrupp – Karin Lindskog, Anders Meurling, Oscar Drevnor, Klas Parthén, Anders Olsson samt till Mikael Karling, Torbjörn Fischbeck, Alf Nordkvist, Kristina Bondesson, Anders Hultgren och Anders Bjurup som med stort intresse har medverkat i projektet.

Innehåll

0 Inledning	6
1 Inledande tester.....	8
2 Studier av vattenflödet genom spricka mellan puts och puts samt puts och målat aluminium vid hydrostatiskt tryck.....	22
3 Studier av vattenflödet i gränsskiktet mellan puts och isolering.....	30
4 Studier av vattenflödet i glipor mellan stenullsskivor	36
5 Studier av vattenflödet genom spricka i puts vid dynamiska förhållanden	39
6 Sammanfattning och slutsatser.....	55
7 Referenser	56

0 Inledning

A Bakgrund

Fasadsystem bestående av puts på olika typer av isolering har i Europa använts under 50-60 år för att förbättra energiprestandan i byggnader med ytterväggar av murverk och betong. För cirka 30 år sedan började samma fasadsystem användas i Nordamerika för att förbättra energiprestandan vid nybyggnation. Fasadsystemet monterades i detta fall i huvudsak på träbaserade ytterväggar. Redan i början av 1990-talet konstaterades allvarliga fuktproblem i den här typen av byggnader i Nordamerika [4,5]. Fuktskadorna orsakades i huvudsak av slagregn som gav upphov till vattenläckage genom otätheter vid bland annat fasadanslutningar.

Fasadsystemet började i Sverige användas i stor utsträckning i organiska ytterväggar under just 1990-talet, ungefär samtidigt som omfattningen av problemen blev uppenbara i Nordamerika. Riskerna med att använda denna typ av fasader på organiska ytterväggar uppmärksammades stort under 2007 [1,2].

Fukt som kan tränga in genom otätheter i tilläggsisoleringssystem av puts applicerad på isolering kan naturligtvis orsaka fuktrelaterade problem även i oorganiska ytterväggar. Inläckande vatten tas upp av kapillärsugande material som murverk och betong, vilket ger fuktiga väggar. Utöver risk för mikrobiell påväxt på insidan av fuktiga väggar, försämras energiprestandan. Värmetransporten genom en fuktig vägg kan vara uppemot det dubbla jämfört med en torr vägg [6].

Många nationella och internationella artiklar samt fuktutredningar har visat att vatten kommer in i tilläggsisoleringssystem framförallt vid anslutningar till öppningar och sprickor i putsen [3,7,8]. Faktorer som påverkar uppkomsten av sprickor och glipor är exempelvis putsens egenskaper såsom initieell krympning, krympning på grund av karbonatisering, armeringstyp, armeringsmängd samt placering av armeringen i putsskiktet. Andra faktorer som påverkar det slutliga resultatet är applicering av putsen såsom handhavandet, antal påslag, brukskonsistens, variationen av bruksmängd per ytenhet, efterbehandling samt fasadens geometri. Isoleringens styvhet är ytterligare faktorer som påverkar sprickbildning i putsen. Klimatpåverkan i form av temperatur- och fuktvariationer är andra viktiga faktorer.

B Tidigare studier

Slagregn som träffar en putsad fasad suggs delvis upp av putsen om denna har kapillära egenskaper. Mängden vatten som kan buffras av puts med kapillära egenskaper påverkas även av putsskiktets tjocklek, efter principen ju tjockare puts desto bättre vattenupptagningsförmåga. Om putsen är vattenmättad eller inte har kapillära egenskaper, kommer slagregnet att ackumuleras och rinna på fasaden i form av en tunn vattenfilm. Om slagregnet är tillräckligt intensivt kan en vattenfilm bildas även om putsen är kapillärsugande.

Det finns relativt få vetenskapliga studier som beskriver vattenläckage genom otätheter i tilläggsisoleringssystem bestående av puts på mineralull i kvantitativa termer [9]. I laboratorieförsök har väggar med olika typer av artificiella otätheter undersökts [8,10]. Vid en vattenbelastning motsvarande kraftigt slagregn har inläckageflöden av storleksordningen 1200 ml/minut*m uppmätts [8].

Experimentella studier av vattentransport genom spruckna cementbundna material visar att upp till sprickbredder på 0.025 mm är materialets permeabilitet av samma storleksordning som för osprucket material [11,12]. Vid sprickbredder större än 0.025 mm ökar permeabiliteten exponentiellt med ökande sprickbredd [13,14,15].

C Syfte och målsättningar

Syftet med undersökningarna som beskrivs i denna rapport har varit att öka kunskaperna kring hur slagregnsinträngning i tilläggsisoleringssystem av puts på isolering av mineralull påverkas av fasadsystemets egenskaper, med beaktande av i verkligheten vanligt förekommande brister som sprickor i putsen och glipor i isolerskarvarna.

Målsättningarna har varit att utveckla metoder för experimentell undersökning i laboratoriemiljö av vattentransport genom fasadsystemets tre huvudkomponenter – putsen, gränsskiktet mellan puts och isolering samt isolerskiktet. Målsättningen var vidare att hitta kvantitativa samband mellan vattentransporten och faktorer som sprickans/glipans bredd, vattentillförseln och det externa trycket som fungerar som pådrivande kraft.

D Rapportens avgränsningar

Föreliggande rapport redovisar resultat från experimentella laboratoriestudier som omfattar hundratals försök. Vissa preliminära slutsatser och lärdomar presenteras. En mer genomgripande analys av resultatens betydelse för verkliga fasadkonstruktioner kommer att presenteras i framtida artiklar och rapporter.

1. Inledande tester - vattenflöde genom spricka mellan puts och puts, puts och aluminium samt puts och trä

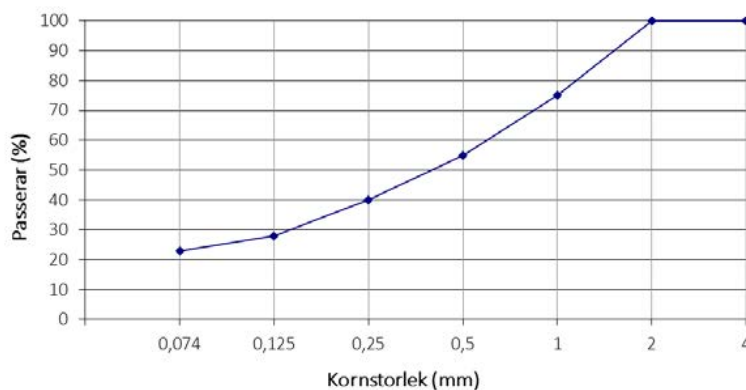
I detta kapitel presenteras resultat från tester av grundläggande karaktär som utfördes för att få kunskap och erfarenhet från vad som händer vid vatteninträngning i en fördefinierad diskret spricka i provkroppar bestående av puts, respektive en kombination av puts-trä och puts-aluminium. Kunskaperna behövs för att kunna bedöma risker med vatten som tränger in genom sprickor i putsen och inte minst vid anslutningsdetaljer där putsen möter fönster och dörrar av aluminium eller trä. Vattentrycket påfördes i form av vattenpelare med höjden 15, 30 respektive 60 mm, vilket motsvarar ett hydrostatiskt tryck på 150, 300 respektive 600 Pa. Totalt användes 7 provkroppar.

1.1 Material och provkropp

Putsbruket som användes är ett kalk-cement bruk i kategori CS IV enligt SS-EN 998-1:2010 med innehåll enligt Tabell 1.1 och kornfördelning enligt Figur 1.1. Den av leverantören deklarerade tryck- och draghållfastheten är $>6 \text{ N/mm}^2$ och $>0.3 \text{ N/mm}^2$.

Tabell 1.1 Innehållsdeklaration för använt putsbruk.

Material	Vikt -%
Kalciumhydroxid	1-10
Portlandcement	5-15
Sand	50-80
Dolomit	1-10
Tillsatsmedel	< 1

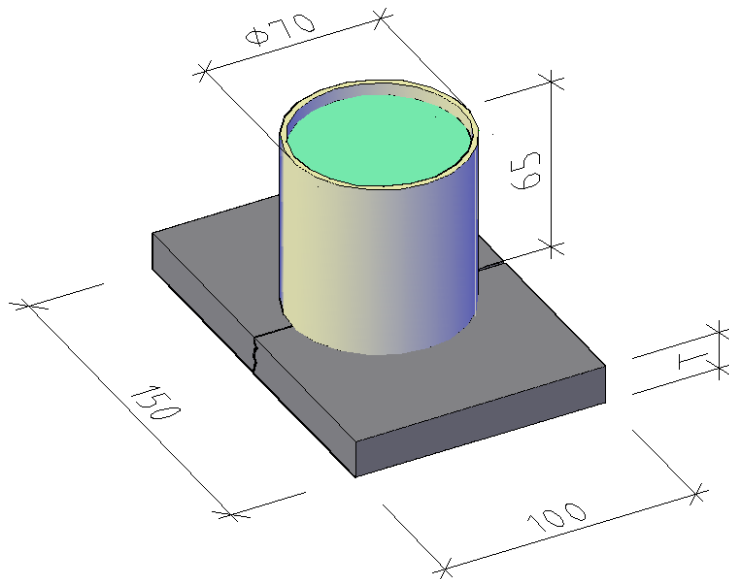


Figur 1.1 Kornstorleksfördelning för använt putsbruk (Källa www.weber.se).

1.2 Provkropp

Provkroppen som användes i försöken består av två delar: a) en skiva i botten bestående av putsbruk respektive en kombination av putsbruk och hyllat virke av fur eller putsbruk och aluminium b) ett pålimmat plaströr genom vilket vattnet påförs, se Figur 1.2. Virket var målat på den sida vilken är exponerad för vatten medan aluminiumet var obehandlat. Putsbruket fick härda i 28 dagar efter gjutning innan en spricka skapades och fixerades med det pålimmade plaströret. För provkropparna bestående av enbart putsbruk eller en kombination av putsbruk och aluminium, åstadkoms sprickan genom böjning tills brott inträffade. Detta var inte nödvändigt vid kombinationen putsbruk och virke eftersom virket på grund av uttorkning separerades från putsbruket. Putsbruket fastnade på

aluminiumet, vilket gjorde att brottet skedde cirka 1 mm in i putsen, se Figur 1.3. För att undvika läckage vid sidorna fylldes sprickan i närheten av provkroppens kanter med epoxylim, vilket även användes för att limma fast plaströret. Sprickans bredd sattes till cirka 0.1 mm genom mätning med sprickmikroskop på 5 diskreta punkter.



Figur 1.2 Provkroppen som används i försöken, alla måtten i mm.



Figur 1.3 Brottytan vid kombinationen putsbruk och aluminium. Nederst på bilden visas hur putsbruket fastnar på aluminiumet.

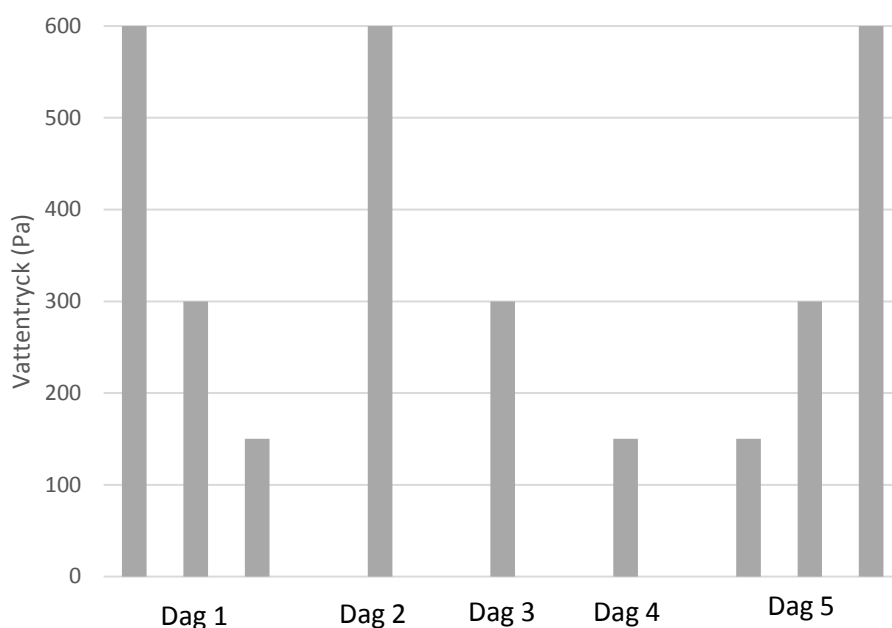
1.3 Försöksschema

Totalt användes 7 stycken olika provkroppar som testades 9 eller 10 gånger var, se Tabell 1.2. Provkropparna av enbart putsbruk hade en tjocklek av antingen 15 eller 30 mm medan vid övriga materialkombinationer sattes tjockleken till 15 mm. Vattentrycket varierade mellan 150, 300 och 600 Pa och vattenbelastningen vid varje försökstillfälle pågick under 30 minuter. Den vattenmängd som passerade sprickan fångades upp i ett kärl placerad på en våg som registrerade vikt och tid.

Testerna på provkropparna 1,2,5,6 och 7 utfördes med varierande vattentryck enligt ett schema som visas i Figur 1.4. Testerna utfördes under ett tidsintervall på 5 dagar. På provkropparna 3 och 4 utfördes totalt 10 försök var, med samma vattentryck på 600 Pa. I detta fall genomfördes testerna dag 1,2,3,6,7,8,9,10,13 och 20.

Tabell 1.2 Försöksschema

Provkropp	Materialkombination	Antal tester utförd på samma provkropp	Tjocklek (T) [mm]	Uppskattad sprickbredd [mm]	Vattentryck [Pa]
1.	Putsbruk-Putsbruk	9	15	0.1	150, 300, 600
2.	Putsbruk-Putsbruk	9	30	0.1	150, 300, 600
3.	Putsbruk-Putsbruk (bara 600 Pa)	10	15	Ej uppmätt	600
4.	Putsbruk-Putsbruk (bara 600 Pa)	10	30	Ej uppmätt	600
5.	Putsbruk-Aluminium	9	15	0.1	150, 300, 600
6.	Putsbruk-Trä (putsbruket gjuts vinkelrätt fiberriktningen i virket, dvs. mot ändträet)	9	15	0.1	150, 300, 600
7.	Putsbruk-Trä (putsbruket gjuts mot en yta som är parallell fiberriktningen i virket)	9	15	0.1	150, 300, 600



Figur 1.4 Vattentryck och dag för tester utförda på provkropparna 1,2,5,6 och 7.

1.4 Resultat från de inledande testerna

Vattenflöden som registrerades genom provkropparna bestående av **puts** visas i Figur 1.5 till 1.8 samt i Tabell 1.3 och 1.4. Vattenflödena påverkas tydligt av det hydrostatiska trycket och putsens tjocklek. I alla försöken utom vid två tillfällen ger ökat hydrostatiskt tryck ökat vattenflöde. Likaså är den totala passerade vattenmängden i provkropparna med tjockleken 15 mm (Figur 1.5) nästan dubbelt så stor jämfört med provkropparna med tjockleken 30 mm (Figur 6).

Vid ett och samma försök visar vattenflödena en avtagande trend, vilket kan förklaras av putsbrukets svällning. Vattenflödena påverkas även av självläkning och igensättning av sprickan, vilket framgår av Figur 1.7 och 1.8, där vattenflödena efter tio uppfuktningar minskade till 7 % respektive 3 % av det utsprungliga flödet. Samma fenomen kan iaktas även i Figur 1.5 och 1.6, där flödena vid ett hydrostatiskt tryck på 600 Pa halveras efter tre uppfuktningar och är endast ca 15 % efter nio uppfuktningar. Uppfuktningshistorien spelar alltså en stor roll för vattenflödena genom sprucken puts, vilket diskuteras även i avsnitt 1.5.

Resultaten vad gäller vattenflödenas storlek påverkas kraftigt av osäkerheten kring sprickbredden. Bestämning av sprickbredden med hjälp av sprickmikroskop är extra svårt framförallt då sprickans kanter är oregelbundna.

Vattenflödena genom provkroppen bestående av **puts och aluminium** uppvisar karakteristika som är snarlika de som observerades för provkroppar av puts, se Figur 1.9 och Tabell 1.5. Den mest tydliga skillnaden är att vattenflödena genom provkroppen av puts-aluminium är drygt dubbelt så stora som genom provkropparna som enbart består av puts, se t.ex. flödena vid hydrostatiskt tryck på 600 Pa i Figur 1.9 respektive Figur 1.5. Minskningen av vattenflödet som funktion av tiden för det enskilda försöket är mindre tydligt i provkropparna av puts-aluminium, vilket torde bero på att svällningen totalt sett är mindre.

Det är rimligt att anta att putsbruket inte skulle fastna lika lätt om målat aluminium hade använts. Användning av målat aluminium skulle antagligen resultera i ökat vattenflöde, på grund av mindre skrovlig sprickvägg och därmed även lägre genomströmningsmotstånd.

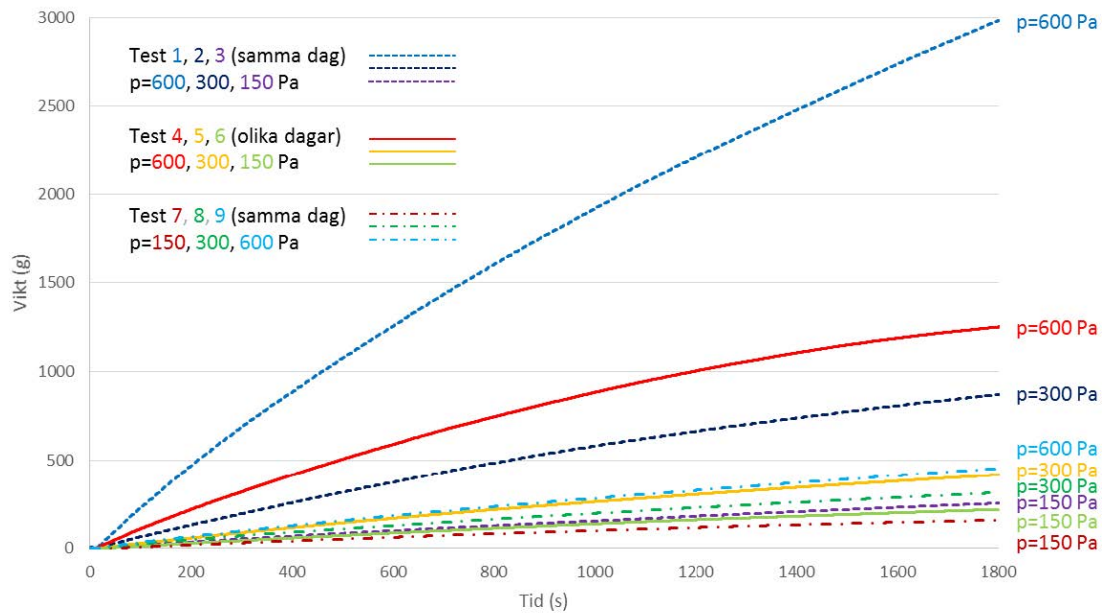
Vattenflödena genom provkropparna bestående av **puts och trä** visas i Figur 1.10 – 1.11 och Tabell 1.6 – 1.7. Som i försöken med provkroppar bestående av enbart puts och en kombination av puts och aluminium, uppvisade vattenflödena ett tydligt beroende av det hydrostatiska trycket.

Som förväntat var effekten av träets svällning påtaglig, vilket visas av att flödena avtar med tiden under ett och samma försök. Eftersom trä sväller 20 – 40 gånger mer i en riktning vinkelrätt fibrerna än vinkelrätt fibrerna, minskar sprickans ursprungliga bredd som mest i provkroppen där sprickan är riktad parallellt fiberriktningen. Detta resulterar i minskat vattenflöde, se Figur 1.10. Då sprickan är riktad vinkelrätt fiberriktningen, blir svällningen mindre, vilket också resulterar i större vattenflöde, se Figur 1.11. Till exempel, var vattenflödet dag 1 i första uppfuktningen vid ett hydrostatiskt tryck på 600 Pa fyra gånger högre i provkroppen med sprickan vinkelrätt mot fiberriktningen jämfört med provkroppen där sprickan löpte parallellt fiberriktningen. Hur stor svällningseffekten blir påverkas även av trästyckets sammansättning vad gäller fibrernas orientering.

Som nämndes tidigare, råder stor osäkerhet om sprickbreddens storlek. Även i försöken med provkroppar av puts och trä observerades avtagande flöden med ökande antal försök, vilket tyder på att självläkning och igensättning av sprickan har en tydlig inverkan. Till exempel var flödena som

uppmättes i försök nummer 7 (150 Pa) mer än fem gånger större än flödena i försök nummer 9 (600 Pa), se Figur 1.11.

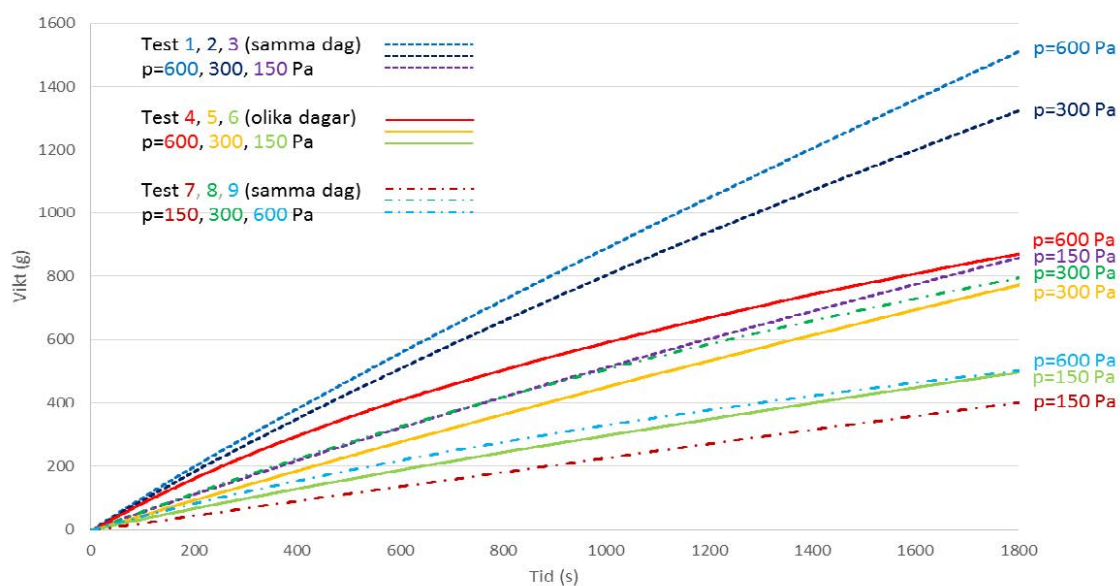
De alltför stora fuktrelaterade rörelserna i provkropparna av puts och trä orsakade en del praktiska svårigheter. Bedömningen görs därför att den aktuella provningsmetoden inte är lämplig för provkroppar bestående av puts och trä. Det finns ett behov av framtida metodutveckling för att kunna studera vatteninträngning genom sprickor där puts möte trä, t.ex. vid fönster och dörranslutningar.



Figur 1.5 Mängd vatten som passera sprickan under 30 minuter, materialkombination puts-puts (provkropp 1), tjocklek=15 mm, uppskattad sprickbredd = 0.1 mm, hydrostatiskt tryck 150, 300 eller 600 Pa.

Tabell 1.3 Mängd vatten som passerat sprickan vid olika tidpunkter och vattentryck. Visar även relativa förhållanden avseende passerad vattenmängd, beräknat i procent m.h.t. det största värdet i varje grupp. Se även Figur 1.5 för ytterligare information.

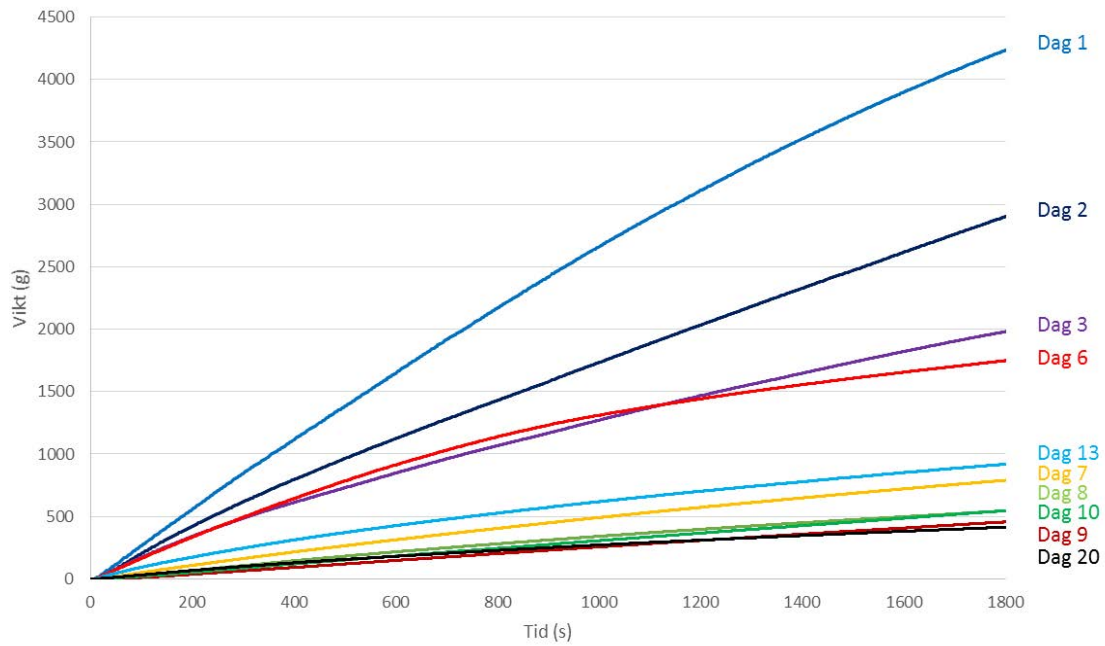
Provkropp 1, puts-puts, t=15 mm, sprickbredd=0.1 mm			
Tidpunkt [dag]	Hydrostatiskt tryck [Pa]	Passerad vattenmängd efter 30 min [g]	Förhållande [%]
1	600	3012	100
	300	879	29
	150	257	9
2	600	1256	100
	300	420	33
	150	229	18
5	150	159	35
	300	316	69
	600	454	100
1	600	3012	100
	600	1256	42
	600	454	15
1	300	879	100
	300	420	48
	300	316	36
1	150	257	100
	150	229	89
	150	159	62



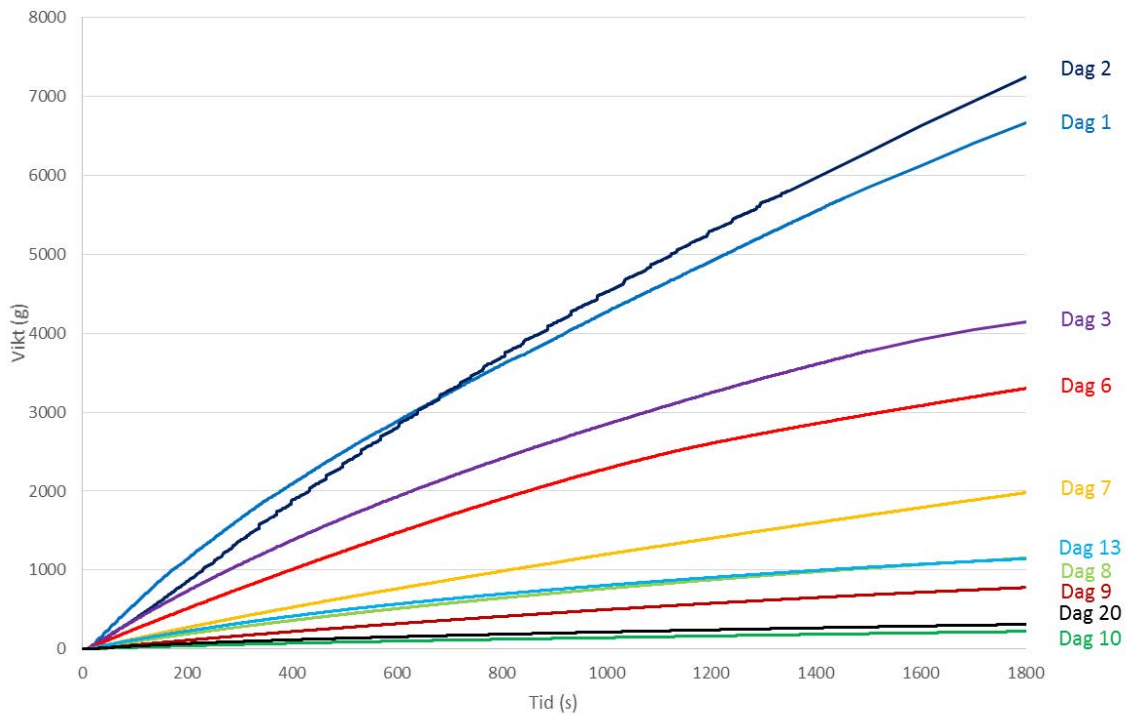
Figur 1.6 Mängd vatten som passera sprickan under 30 minuter, materialkombination puts-puts (provkropp 2), tjocklek=30 mm, uppskattad sprickbredd=0.1 mm, hydrostatiskt tryck 150, 300 eller 600 Pa.

Tabell 1.4 Mängd vatten som passerat sprickan vid olika tidpunkter och vattentryck. Visar även relativa förhållanden avseende passerad vattenmängd, beräknat i procent m.h.t. det största värdet i varje grupp. Se även Figur 1.6 för ytterligare information.

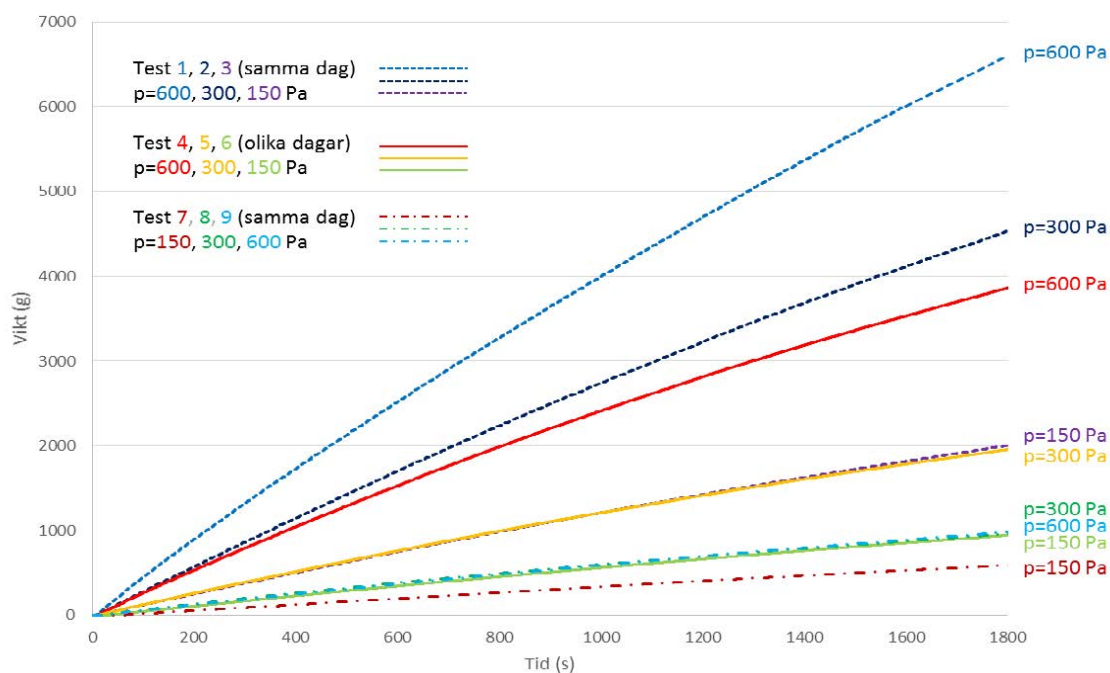
Provkropp 2, puts-puts, t=30 mm, sprickbredd=0.1 mm			
Tidpunkt [dag]	Hydrostatiskt tryck [Pa]	Passerad vatten- mängd efter 30 min [g]	Förhållande [%]
1	600	1510	100
	300	1324	88
	150	859	57
2	600	877	100
	300	781	89
	150	501	57
5	150	401	50
	300	797	100
	600	503	63
1	600	1510	100
	600	877	58
	600	503	33
1	300	1324	100
	300	781	59
	300	797	60
1	150	859	100
	150	501	58
	150	401	47



Figur 1.7 Mängd vatten som passera sprickan under 30 minuter vid olika tidpunkter, materialkombination puts-puts (provkropp 3), tjocklek=15 mm, sprickbredd osäker, hydrostatiskt tryck 600 Pa.



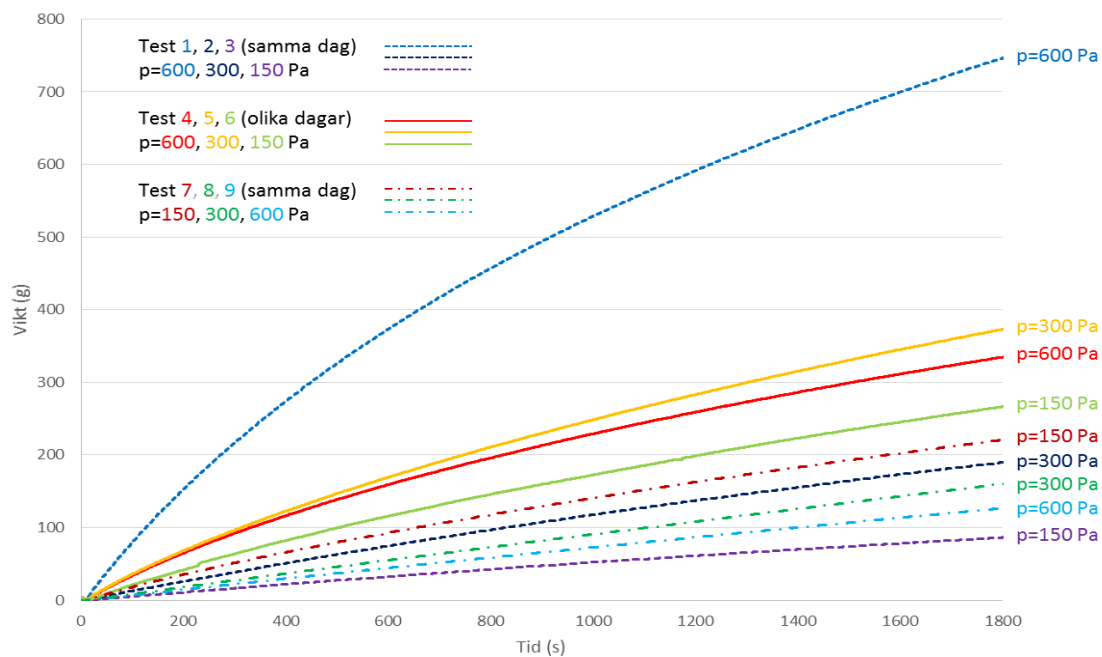
Figur 1.8 Mängd vatten som passera sprickan under 30 minuter vid olika tidpunkter, materialkombination puts-puts (provkropp 4), tjocklek=30 mm, sprickbred osäker, hydrostatiskt tryck 600 Pa.



Figur 1.9 Mängd vatten som passera sprickan under 30 minuter, materialkombination puts-aluminium (provkropp 5), tjocklek=15 mm, uppskattad sprickbredd=0.1 mm, hydrostatiskt tryck 150, 300 eller 600 Pa.

Tabell 1.5 Mängd vatten som passerat sprickan vid olika tidpunkter och vattentryck. Visar även relativa förhållanden avseende passerad vattenmängd, beräknat i procent m.h.t. det största värdet i varje grupp. Se även Figur 1.9 för ytterligare information.

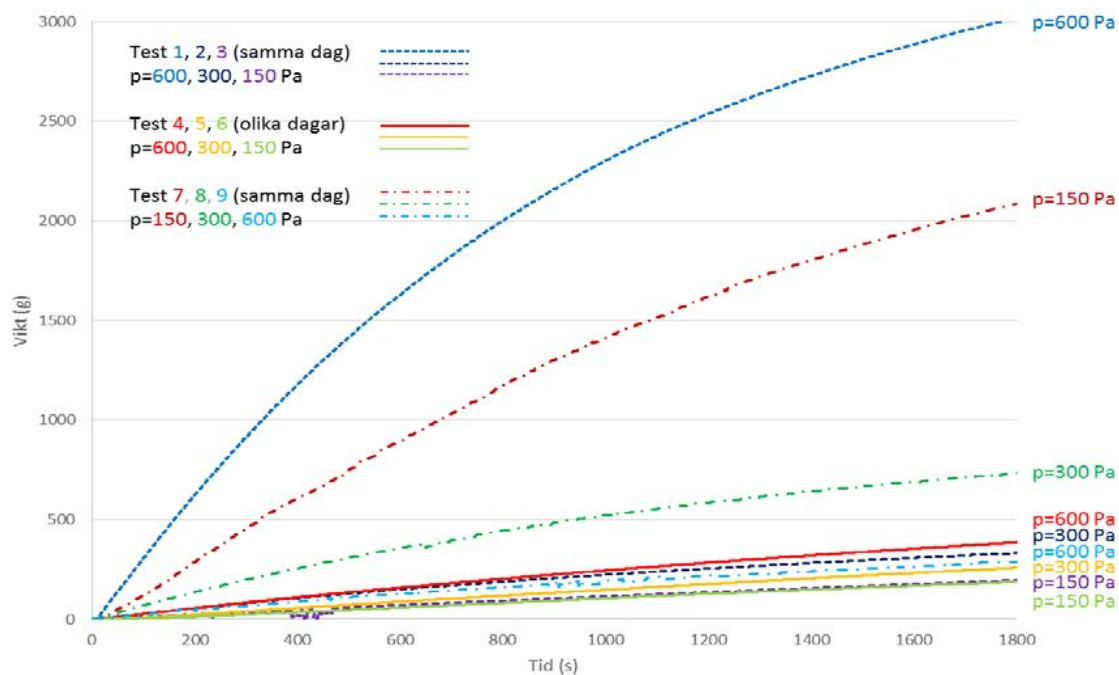
Provkropp 5, puts-aluminium, t=15mm			
Tidpunkt [dag]	Hydrostatiskt tryck [Pa]	Passerad vatten- mängd efter 30 min [g]	Förhållande [%]
1	600	6600	100
	300	4550	69
	150	2006	30
2	600	3885	100
	300	1966	51
	150	951	24
5	150	596	58
	300	1021	100
	600	993	97
1	600	6600	100
	600	3885	59
	600	993	15
1	300	4550	100
	300	1966	43
	300	1021	22
1	150	2006	100
	150	951	47
	150	596	30



Figur 1.10. Mängd vatten som passera sprickan under 30 minuter, materialkombination puts-trä vinkelrätt fiberriktningen (provkropp 6), tjocklek=15 mm, uppskattad sprickvidd=0.1 mm, hydrostatiskt tryck 150, 300 eller 600 Pa.

Tabell 1.6 Mängd vatten som passerat sprickan vid olika tidpunkter och vattentryck. Visar även relativa förhållanden avseende passerad vattenmängd, beräknat i procent m.h.t. det största värdet i varje grupp. Se även Figur 1.10 för ytterligare information.

Provkropp 6, puts-trä vinkelrätt fiberriktningen, t=15mm				
Tidpunkt [dag]	Hydrostatiskt tryck [Pa]	Passerad vatten- mängd efter 30 min [g]	Förhållande [%]	
1	600	748,8	100	
	300	191,1	26	
	150	86,4	12	
2	600	337,2	90	
	3	300	374,7	100
		150	269,9	72
5	150	222,6	100	
	300	126,6	57	
	600	162,4	73	
1	600	748,8	100	
	2	600	337,2	45
	5	600	162,4	22
1	300	191,1	51	
	3	300	374,7	100
	5	300	126,6	34
1	150	86,4	32	
	4	150	269,9	100
	5	150	222,6	82



Figur 1.11 Mängd vatten som passera sprickan under 30 minuter, materialkombination puts-trä längs fiberriktningen (provkropp 7), tjocklek=15 mm, uppskattad sprickvidd=0.1 mm, hydrostatiskt tryck 150, 300 eller 600 Pa.

Tabell 1.7 Mängd vatten som passerat sprickan vid olika tidpunkter och vattentryck. Visar även relativa förhållanden avseende passerad vattenmängd, beräknat i procent m.h.t. det största värdet i varje grupp. Se även Figur 1.11 för ytterligare information.

Provkropp 7, puts-trä längs fiberriktningen, t=15mm			
Tidpunkt [dag]	Hydrostatiskt tryck [Pa]	Passerad vatten- mängd efter 30 min [g]	Förhållande [%]
1	600	3031	100
	300	334	11
	150	197	6
2	600	388	100
	300	260	67
	150	191	49
5	150	2093	100
	300	740	35
	600	292	14
1	600	3031	100
	600	388	13
	600	292	10
1	300	334	45
	300	260	35
	300	740	100
1	150	197	9
	150	191	9
	150	2093	100

1.5 Självläkning och igensättning av sprickorna

Vid upprepad vattenbegjutning av provkropparna uppstod en så kallad självläkning av sprickan, se Figur 1.12-1.14. Självläkningen observerades endast vid den yta som gränsade till vattnet, dvs längs hela sprickans längd och 2-3 mm ner i sprickan. Det nybildade materialet som uppstod kan beskrivas som oregelbundet formade trådar. Någon undersökningen av det ansamlade materialets sammansättning genomfördes inte. Enligt [16] består ofta materialet som åstadkommer självläkning av:

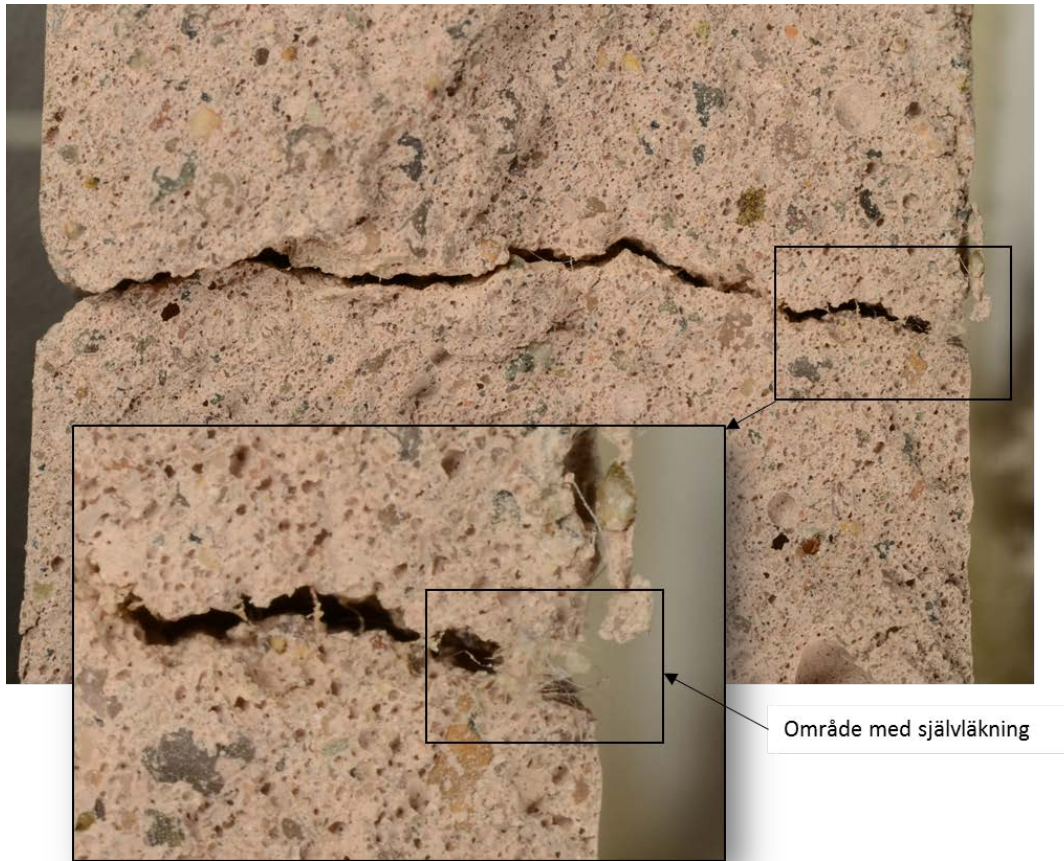
- Ettringit i form av nålformade kristaller bestående av aluminium, kalcium och svavel;
- Kalciumhydroxidkristaller (portlandit);
- Kalciumkarbonatkristaller (kalcit);
- Magnesiumkarbonatkristaller (brucit).

Kristallernas sammansättning beror, enligt samma källa, av betongens sammansättning och vattnets salthalt. I nämnda fall innehöll inte betongen några extra tillsatser.

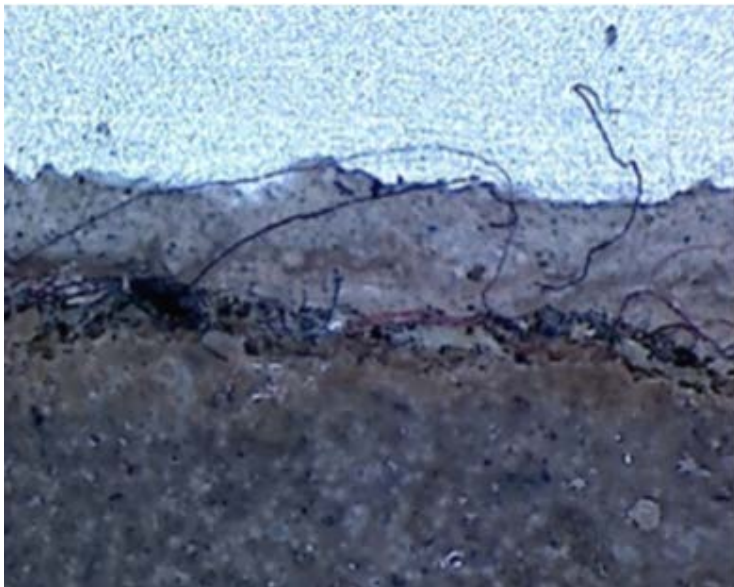
I det putsbruk som används i denna studie, finns glasfiber som ska verka sprickhämmande. Det finns alltså en sannolikhet att glasfibrer från ytan av putsbruket lossnar och fastnar i sprickans inlopp.



Figur 1.12 Sprickan visad i plan. Provkroppen är delad vinkelrätt sprickans riktning, därav en del av det nybildade materialet som fanns på den andra delen sticker ut till vänster.



Figur 1.13 Sprickan visad i sektion. Område med nybildat material i förstoring.



Figur 1.14 Sprickan visad i plan, nybildat material som skiljer sig i utseende jämfört med Figur 1.12 och 1.13. Den silvriga ytan är obehandlat aluminium.

1.6 Slutser från de inledande studierna

De viktigaste slutsatserna från de inledande studierna är:

- Vattenflödet som passerar genom en diskret putspricka med bredden i närheten av 0.1 mm påverkas av det applicerade hydrostatiska trycket, putsskiktets tjocklek, putsens svällning samt uppfuktningshistorien;
- Vattenflödet ökar med det applicerade hydrostatiska trycket;
- Ju tjockare puts desto större motstånd mot vattengenomströmningen;
- Putsens svällning bidrar till att minska vattenflödet genom sprickor;
- Upprepade vattenbegjutningar bidrar till att sprickans inlopp sätts igen. Orsaken tros vara en kombination av så kallad självläkning och ansamling av fibrer som kan finnas i putsen.

Provkroppar bestående av en kombination av puts-aluminium respektive puts-trä uppvisar stora likheter med provkroppar av enbart puts vad gäller vattengenomströmning. Svällningen i provkroppar med aluminium är lägre medan i provkroppar med trä är högre än i provkroppar av enbart puts.

Mätning av sprickbredderna med hjälp av sprickmikroskop ger osäkra resultat, framförallt då sprickans kanter är oregelbundna. Sprickmätningmetoder som ger mer träffsäkra resultat bör därför användas.

De inledande försöken bekräftade att den föreslagna metoden för att mäta vattengenomströmningen genom en diskret spricka i provkroppar av puts respektive puts-aluminium fungerar bra. På grund av stor svällning fungerar metoden inte lika bra för provkroppar där man kombinerar puts med trä.

2. Studier av vattenflödet genom spricka mellan puts och puts samt puts och målat aluminium vid hydrostatiskt tryck

I detta kapitel undersöks hur sprickbredden och det hydrostatiska trycket påverkar vattenflödet genom provkroppar som innehåller en diskret spricka. Två olika typer av provkroppar har använts, varav den ena består av enbart puts medan den andra av en kombination av puts och målat aluminium. Materialen och utformningen av provkroppen är samma som i Kapitel 1. Erfarenhet från tidigare försök visade på behovet av en noggrannare metod att bestämma medelsprickbredden, vilket kommer att presenteras.

2.1 Försöksschema

Totalt undersöktes 32 stycken provkroppar, varav hälften bestod av enbart puts medan andra hälften av en kombination av puts och målat aluminium. Målet har varit att erhålla fyra grupper med sprickbredden 0.1, 0.2, 0.3 och 0.4 mm. Eftersom det är en tidskrävande och svår process att ta fram en specifik sprickbredd, valdes intervall istället, i detta fall 0.06-0.15, 0.16-0.25, 0.26-0.35, 0.36-0.45 mm. I varje intervall fanns det fyra provkroppar med sprickbredd enligt Tabell 2.1. Samma provkropp testades vid samma tillfälle för hydrostatiskt tryck på 600, 300 respektive 150 Pa i följd efter varandra. Varje test pågick under 30 minuter.

Tabell 2.1. Försöksschema

Intervall för sprickbredden [mm]	Sprickbredd i putsen [mm]	Sprickbredd mellan aluminium och puts [mm]
0.06-0.15	0.10	0.14
	0.14	0.14
	0.10	0.10
	0.14	0.07
0.16-0.25	0.16	0.21
	0.18	0.24
	0.20	0.22
	0.25	0.23
0.26-0.35	0.31	0.32
	0.31	0.26
	0.34	0.31
	0.35	0.30
0.36-0.45	0.36	0.44
	0.36	0.43
	0.37	0.43
	0.44	0.40

2.2 Ny mätmetod för mätning av sprickbredd

I försöken redovisade enligt de inledande testerna i Kapitel 1, användes ett sprickmikroskop för att bestämma sprickbredden. Denna metod visade sig ge otillfredsställande noggrannhet på grund av godtycke i samband med val av mätpunkter samt tolkningar gjorda av personer som mäter. Faktorer som påverkar noggrannheten vid mätning är förstoringen, var avläsningarna sker, hur många punkter som mäts samt var början och slutet på sprickans bredd anses vara.

För försöken som utfördes i Kapitel 1 hade mätnoggrannheten inte någon avgörande betydelse, eftersom målsättningen var att bygga upp kvalitativ kunskap kring vatteninträngning genom ett putsskikt. I denna studie är målsättningen att studera vattenflödena genom en spricka som funktion av bland annat sprickbredden, vilket motiverade att en ny mätmetod med större noggrannhet utvecklades. Nedan ges en beskrivning till denna alternativa mätmetod.

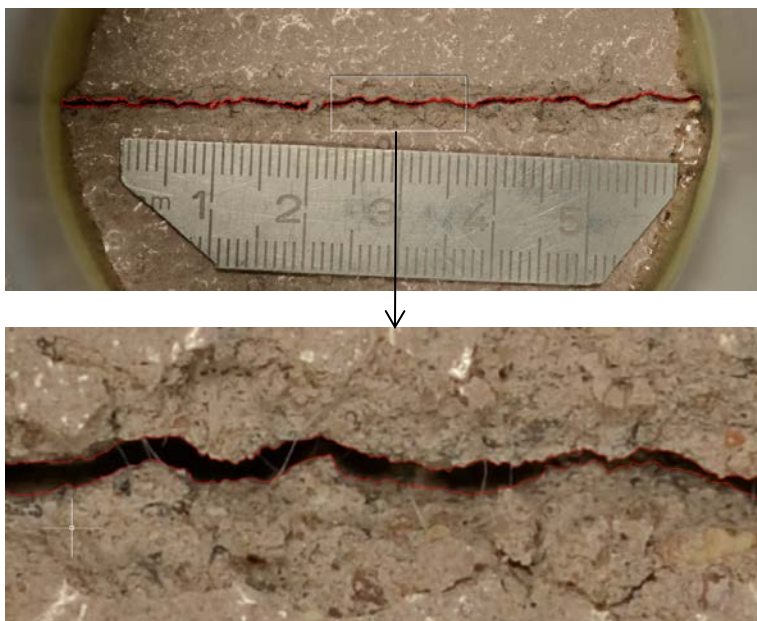
Steg 1. En bild av mätområdet tas med digital kamera monterad på stativ. Kameran förses med ett så kallat makroobjektiv, vilket är anpassat för närbildsfotografering. I bilden placeras även en referenslängd, i detta fall en bit av en stållinjal, se Figur 2.1.



Figur 2.1 Bild av mätområdet med referenslängd (stållinjal).

Steg 2. Bilden importeras till AutoCad, en kommersiell programvara från Autodesk Inc., där den skalas om till verklig storlek med hjälp av referenslängden. Genom att rita en sammanhängande linje (i detta fall röd, se Figur 2.2) som definierar sprickans utbredningsområde, är det möjligt att med de inbyggda funktionerna i programmet bestämma arean och sprickans längd. Genom att dividera uppmätt area med längden erhålls en medelbredd på sprickan.

Metoden är iterativ, vilket innebär att sprickans bredd förändras genom att sära eller flytta delarna närmare varandra för att ändra sprickans bredd, ta en bild, rita och utföra beräkningar tills att önskad sprickbredd erhålls. Viktigt är att undvika att delarna vrids vid förflyttning samt fixering i samband med limningen. Detta kan uppnås genom att styra med exempelvis fastskruvade plywoodremsor på båda sidorna om provkroppen.



Figur 2.2. I den övre bilden har en röd linje ritats utefter sprickans kanter. Den undre bilden visar en närbild av det markerade området.

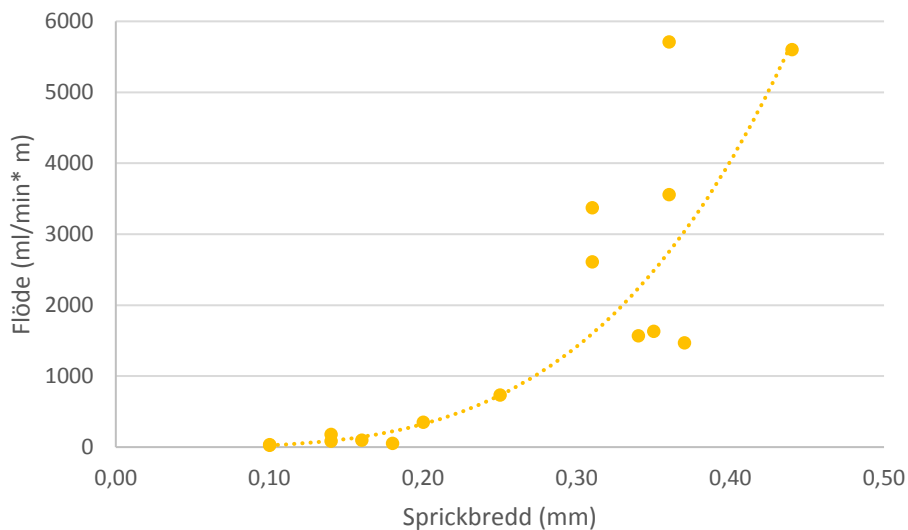
2.3 Resultat – vattenflöde genom spricka definierad av puts

Resultaten från provningarna kan ses i Figurerna 2.3- 2.5. I diagrammen redovisas ett vattenflöde ($\text{ml}/\text{min}\cdot\text{m}$) från varje försök, definierat som den totala mängden vatten som passerat sprickan dividerat med tiden försöket tog samt längden på sprickan.

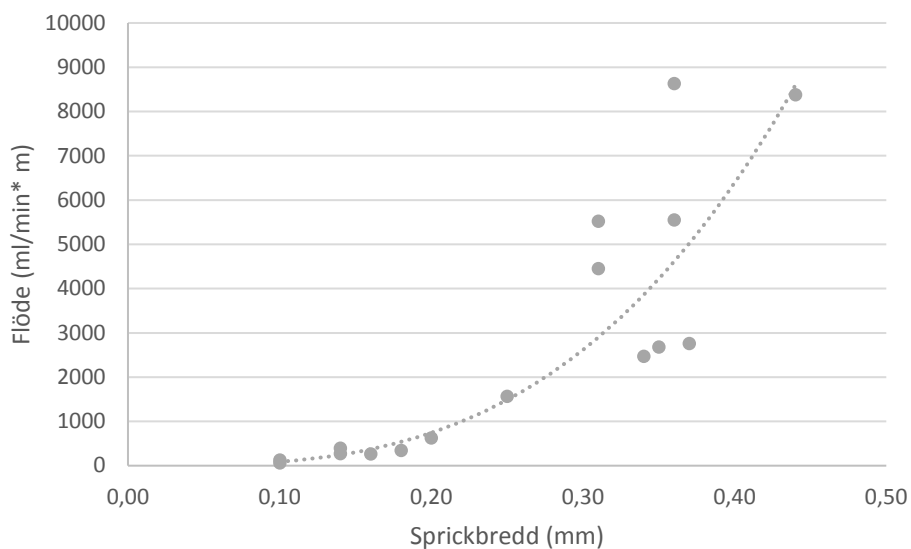
Vattenflödena ökar med ökande sprickbredder efter ett mönster som kan beskrivas av en potensfunktion. För en spricka med längden 1 meter och bredden runt 0.1 mm registrerades vattenflöden som var mindre än 500 ml per minut. Motsvarande vattenflöden för sprickor med bredden runt 0.2 mm var mellan 500 - 2000 ml per minut och för sprickor med bredden runt 0.3 mm mellan 2000 – 8000 ml per minut.

Vattenflödena uppvisar även ett tydligt beroende av det hydrostatiska trycket. Högre hydrostatiskt tryck ger högre flöde.

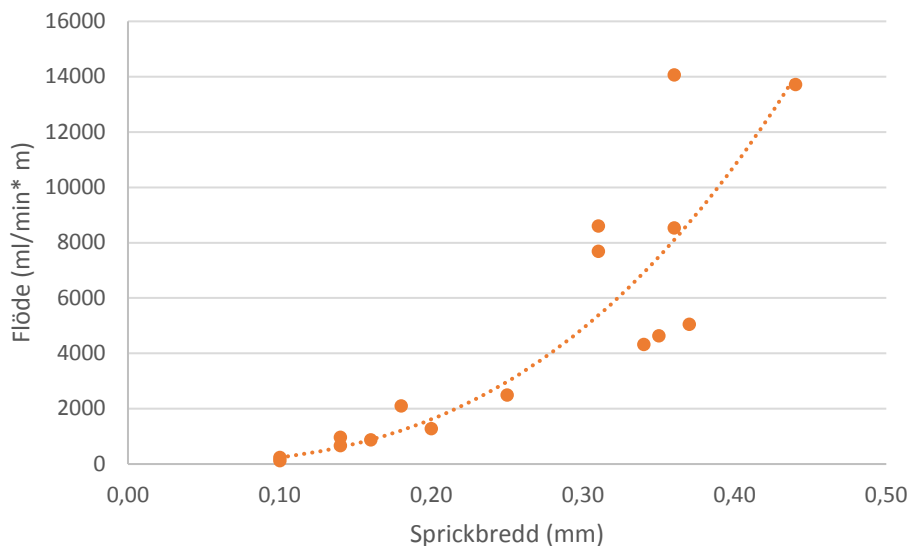
Figur 2.6 visar samliga försökresultat i ett och samma diagram. Av Figur 2.6 framgår att det är en logisk ordning av kurvorna där det största hydrostatiska trycket ger det största vattenflödet och minsta hydrostatiska trycket det lägsta vattenflödet.



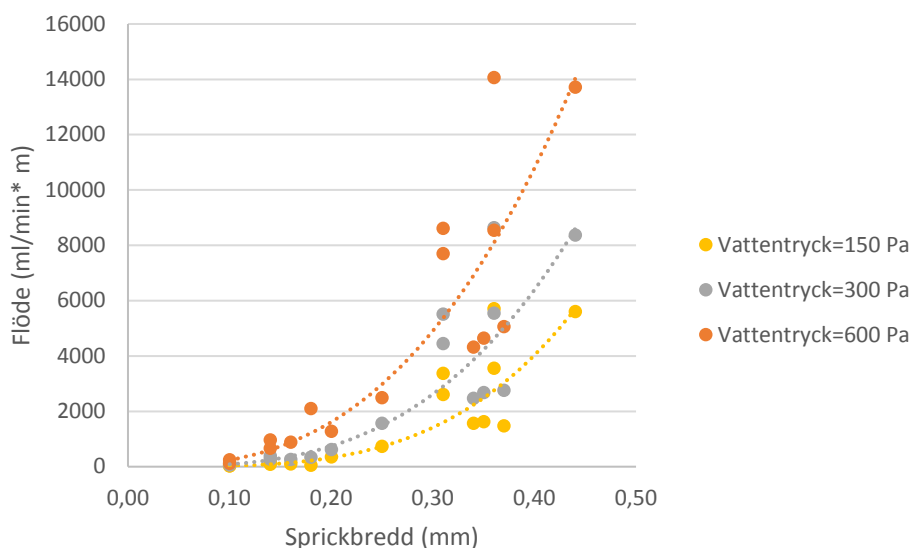
Figur 2.3 Vattenflöden genom en spricka definierad av puts som funktion av sprickbredden vid ett hydrostatiskt tryck på 150 Pa.



Figur 2.4 Vattenflöden genom en spricka definierad av puts som funktion av sprickbredden vid ett hydrostatiskt tryck på 300 Pa.



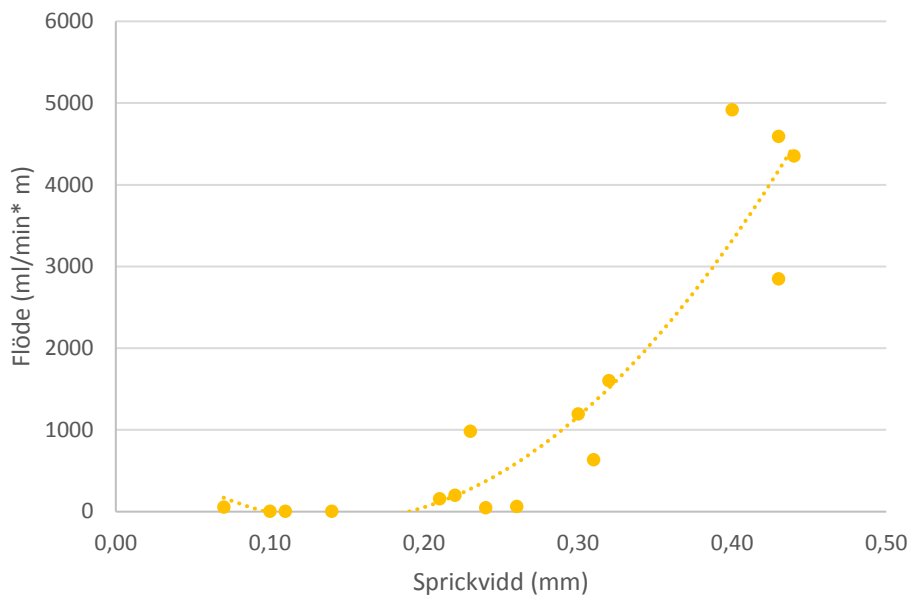
Figur 2.5 Vattenflöden genom en spricka definierad av puts som funktion av sprickbredden vid ett hydrostatiskt tryck på 600 Pa.



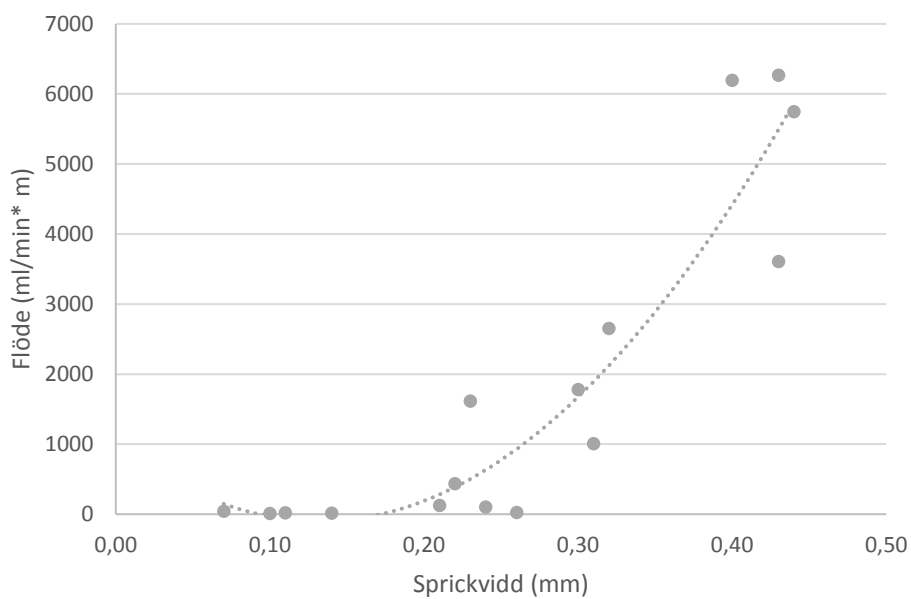
Figur 2.6 Vattenflöden genom en spricka definierad av puts som funktion av sprickbredden och det hydrostatiska trycket - sammanställning av resultaten från figur 2.3- 2.5.

2.4 Resultat- vattenflöden genom spricka definierad av puts och målat aluminium

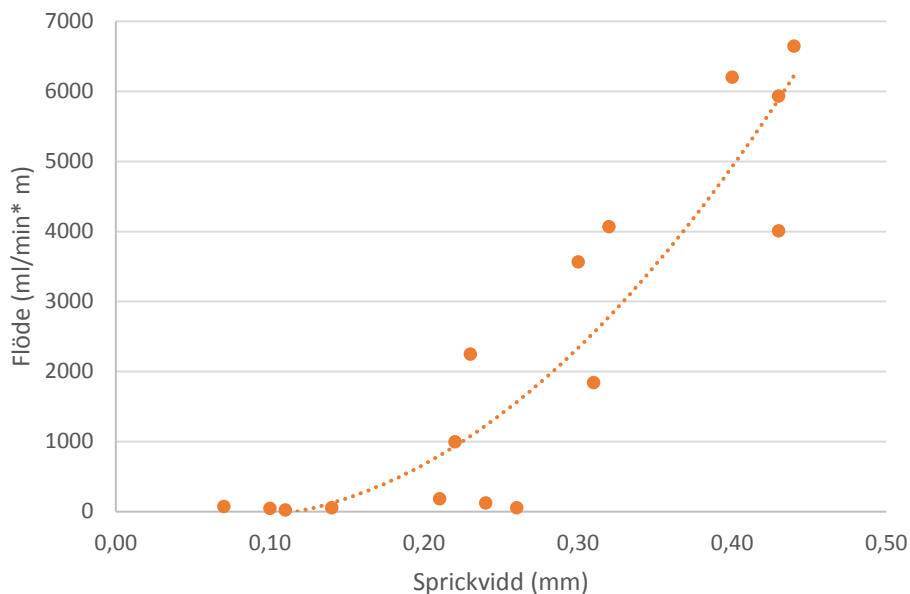
Resultaten från provningarna visas i Figurerna 2.7 – 2.9. Vattenflödena ökar även för den här typen av provkroppar med sprickbredden efter ett mönster som kan beskrivas med hjälp av ett polynom av andra graden. Högre hydrostatiskt tryck ger högre vattenflöden medan lägre hydrostatiskt vattentryck ger lägre vattenflöden.



Figur 2.7 Vattenflöden genom en spricka definierad av puts och målat aluminium som funktion av sprickbredden vid ett hydrostatiskt tryck på 150 Pa.

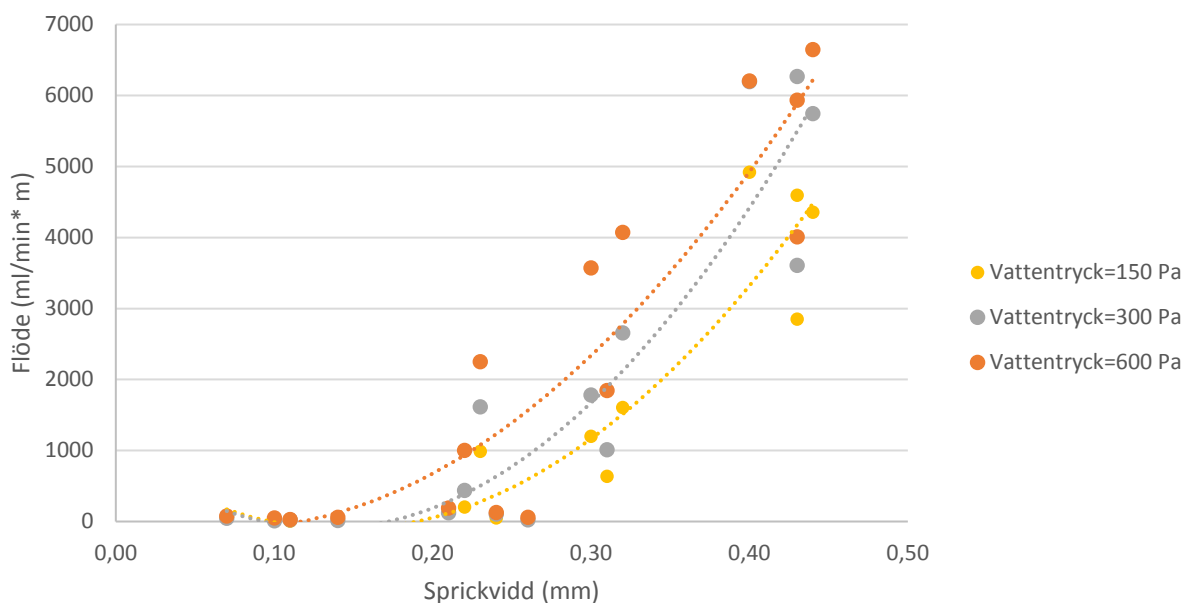


Figur 2.8 Vattenflöden genom en spricka definierad av puts och målat aluminium som funktion av sprickbredden vid ett hydrostatiskt tryck på 300 Pa.



Figur 2.9 Vattenflöden genom en spricka definierad av puts och målat aluminium som funktion av sprickbredden vid ett hydrostatiskt tryck på 600 Pa.

Figur 2.10 visar en logisk ordning av kurvorna där det största hydrostatiska trycket ger det största vattenflödet och minsta hydrostatiska trycket det lägsta vattenflödet. Det kan också konstateras att variabiliteten när det gäller vattenflöden ökar med ökande hydrostatiskt tryck. Vidare, leder ökande hydrostatiskt tryck till en mindre tydlig ökning av vattenflödena, jämför med Figur 2.6.



Figur 2.10 Vattenflöden genom en spricka definierad av puts och målat aluminium som funktion av sprickbredden och det hydrostatiska trycket - sammanställning av resultaten från figur 2.7- 2.9.

Det kan även noteras att det generellt erhöles lägre vattenflöden genom en spricka definierad av puts och aluminium jämfört med en spricka i puts. Detta var oväntat, då ena sidan av provkropparna bestod av målat aluminium. En slätare yta förväntades därför ge större vattenflöde. Den mest rimliga

förklaringen till de oväntade resultaten är att sprickbredden generellt kan ha överskattats. Denna överskattning skulle kunna förklara att vattenflödena blev lägre. Överskattningen av sprickbredderna beror troligtvis på svårigheten att definiera gränsen för aluminiumet, som kan ha orsakats av att det använda aluminiumstycket hade avrundade kanter.

2.5 Slutsatser

De viktigaste slutsatserna från undersökningen av vatteninfiltration genom en diskret spricka i provkroppar bestående av puts eller en kombination av puts och målat aluminium utsatta för hydrostatiskt tryck är:

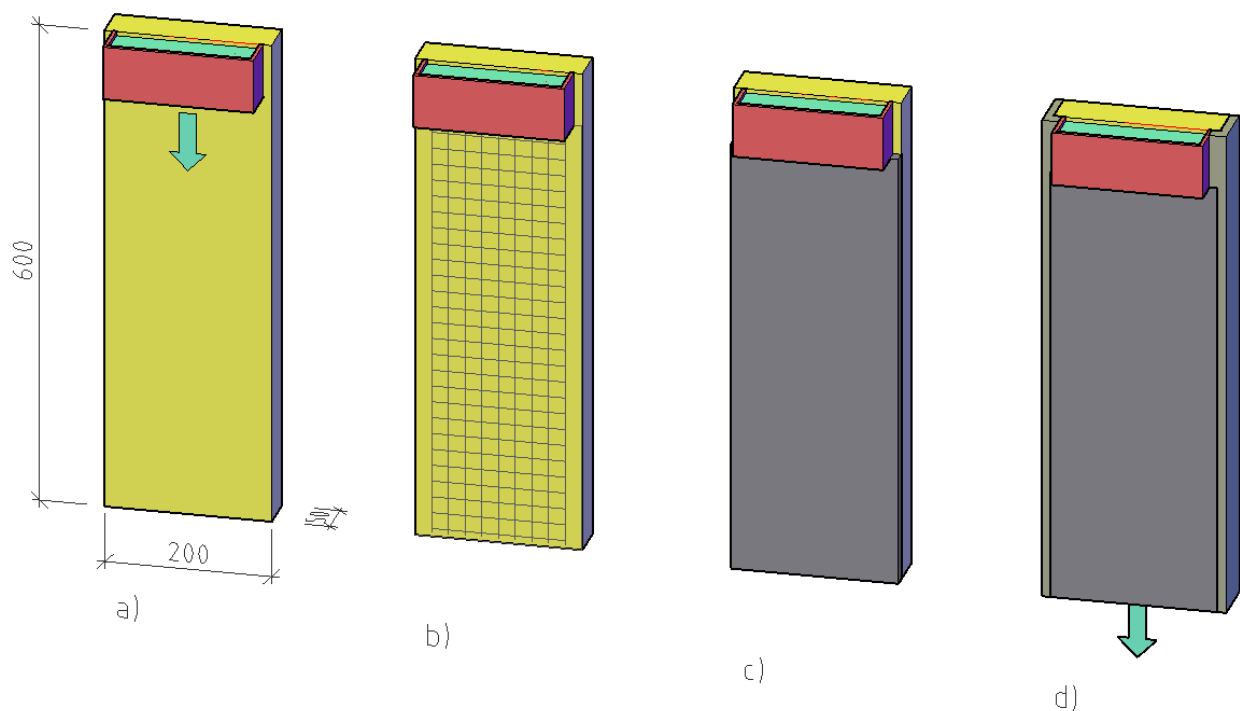
- Vattenflödena som passerar genom en diskret spricka påverkas av sprickbredderna. Vattenflödets beroende av sprickbredden kan för en spricka definierad av puts beskrivas med hjälp av en potensfunktion medan det för en spricka definierad av puts och aluminium med hjälp av ett polynom av andra graden;
- Vattenflödena ökar med ökande hydrostatiskt tryck;
- Osäkerheter i uppskattningen av sprickbredderna i provkroppar bestående av puts och målat aluminium är en trolig förklaring till att vattenflödena i detta fall blev lägre än i fallet med spricka definierad av enbart puts.

3. Studier av vattenflödet i gränsskiktet mellan puts och isolering

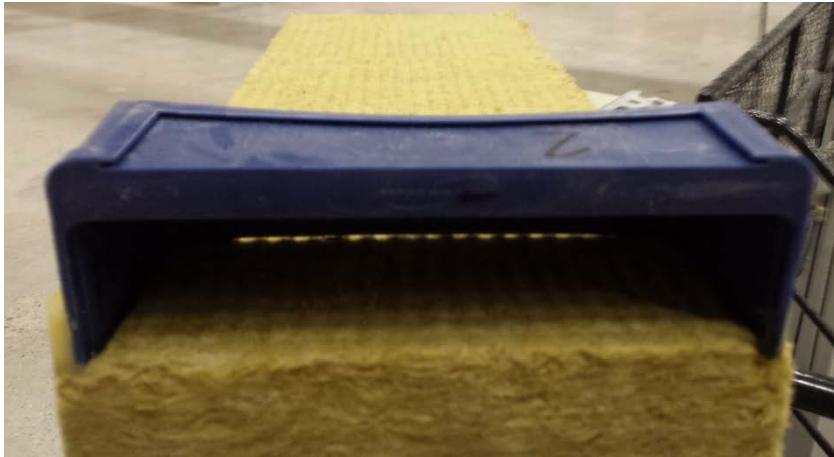
I denna testomgång kontrolleras vilka vattenflöden som kan uppstå i gränsskiktet mellan puts och isolering vid olika externt hydrostatiskt tryck. Vattnet förs in i gränsskiktet mellan puts och isolering med hjälp av en fastlimmad plastbehållare, där vattnets höjd och därmed det externa hydrostatiska trycket regleras till önskad nivå. Vatten som passerar gränsskiktet mellan puts och isolering fångas upp i underkant och registreras av en våg. Provkropparna testas både då putsen är vattenmättad och torr.

3.1 Undersökningens utformning

Provkropparna är uppbyggda av ett skikt stenullsisolering med tjockleken 50 mm (Paroc Fas 2) och ett skikt av puts med tjockleken 15 mm puts, se Figur 3.1. Putsen har samma egenskaper som redovisades i kapitel 1, avsnitt 1.1 i denna rapport. Provkropparnas höjd är 600 mm, deras bredd 200 mm. För att kunna föra in vatten i systemet limmas en behållare av plast mot stenullen – detta görs innan putsskiktets påförande, se Figurerna 3.1a och 3.1b. I plastbehållarens underkant uppstår en naturlig springa, eftersom isolerskivans yta är något vågformad, se Figur 3.2. Springans bredd är inte uppmätt men en kontroll görs så att vattenflödet genom springan inte blir begränsande för att kunna förse gränsskiktet mellan puts och isolering med tillräckligt vatten. Vattnets höjd och därmed det hydrostatiska trycket regleras genom kontinuerlig påfyllning till önskad nivå. För att undvika oönskat vattenläckage vid provkroppens sidoytor, förseglades dessa ytor med en pågjutning av flytspackel, se Figur 3.1 d.



Figur 3.1. Provkroppen som används för att bestämma vattenflödet i gränsskiktet mellan puts och isolering.



Figur 3.2 Plasthållare för vatten med en naturlig springa mot isolerskiktet.

Totalt undersöktes 18 provkroppar, hälften utan putsarmering, hälften med putsarmering. Det hydrostatiska trycket sattes till nivåerna 150, 300 och 600 Pa. Testerna utförs både då putsen var torr och vattenmättad, se Tabell 3.1. För att vattenmätta putsen sänktes provkroppen i 24 timmar ner i en behållare där vattennivån motsvarade putstjockleken. Försökstiden var 30 minuter för de vattenmättade provkropparna och 60 minuter för de torra. Vattnet som rann ut vid botten av provkroppen samlades upp av ett kärl placerat på en våg som registrerade vikt och tid.

Tabell 3.1 Försöksschema

Statiskt vattentryck (Pa)	Torr puts Utan / med nät (st)	Vattenmättad puts Utan / med nät (st)
150	9 / 9	9 / 9
300	9 / 9	9 / 9
600	9 / 9	9 / 9

3.2 Resultat och diskussioner

Efter att plastbehållarna limmades mot provkropparna men före putsningen, testades vattenflödena genom glipan som på ett naturligt sätt bildades vid plastbehållarens underkant och isolerskivornas vågiga yta. Som nämnts tidigare, var det viktigt att förvissa sig om att flödena vid plastbehållarens mynning inte verkade begränsande för huvudundersökningen vars målsättning var att studera vattenflödena i gränsskiktet mellan puts och isolering. I Tabell 3.2 redovisas de fria vattenflödena vid plastbehållarens mynning mot isoleringen vid hydrostatiskt tryck på 150, 300 och 600 Pa. Resultaten från huvudundersökningen kommer senare att bekräfta att vattentillförseln genom plastbehållarens mynning var tillräcklig, dvs flödena i gränsskiktet mellan puts och isolering inte påverkades av vattentillförseln.

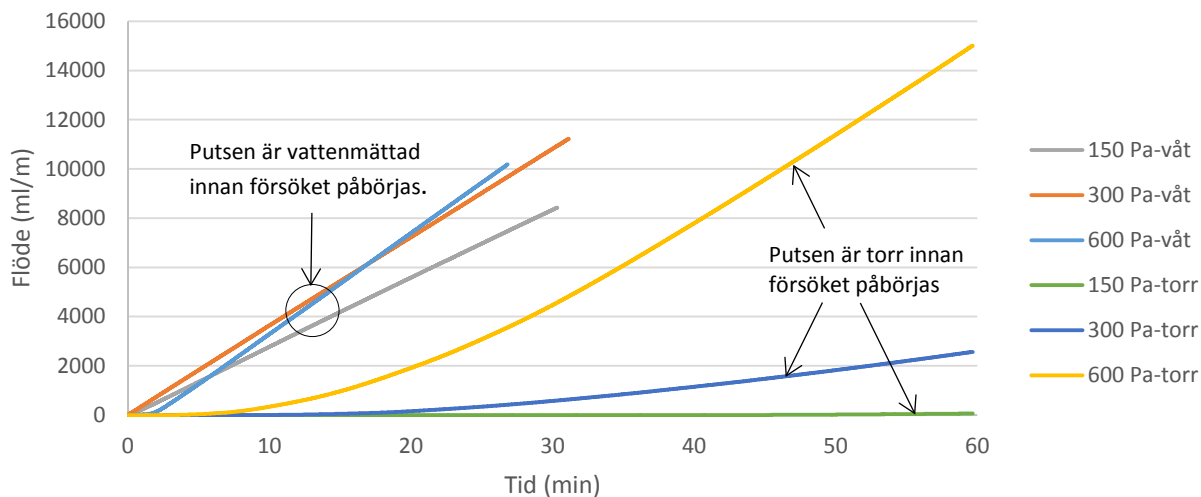
Tabell 3.2. Vattenflöde vid plastbehållarens mynning vid olika yttre vattentryck.

Provkropp	Vattenflöde [ml/min*m]		
	Yttre hydrostatiskt tryck [Pa]		
	150	300	600
1	10757	17914	29914
2	13843	20486	29229
3	2614	4243	8914
4	686	2486	6986
5	7414	11571	20100
6	7157	13414	25714
7	21429	34286	53443
8	3943	5914	10286
9	2357	6429	16714
10	8914	15343	25714
11	2957	3386	6814
12	1457	6171	13543
13	1929	3729	7843
14	7929	13629	25757
15	1114	2186	5657
16	6600	11443	18129
17	1971	3857	8486
18	1071	2357	9986
Medel	5687	9936	17957

3.2 Resultat och diskussioner

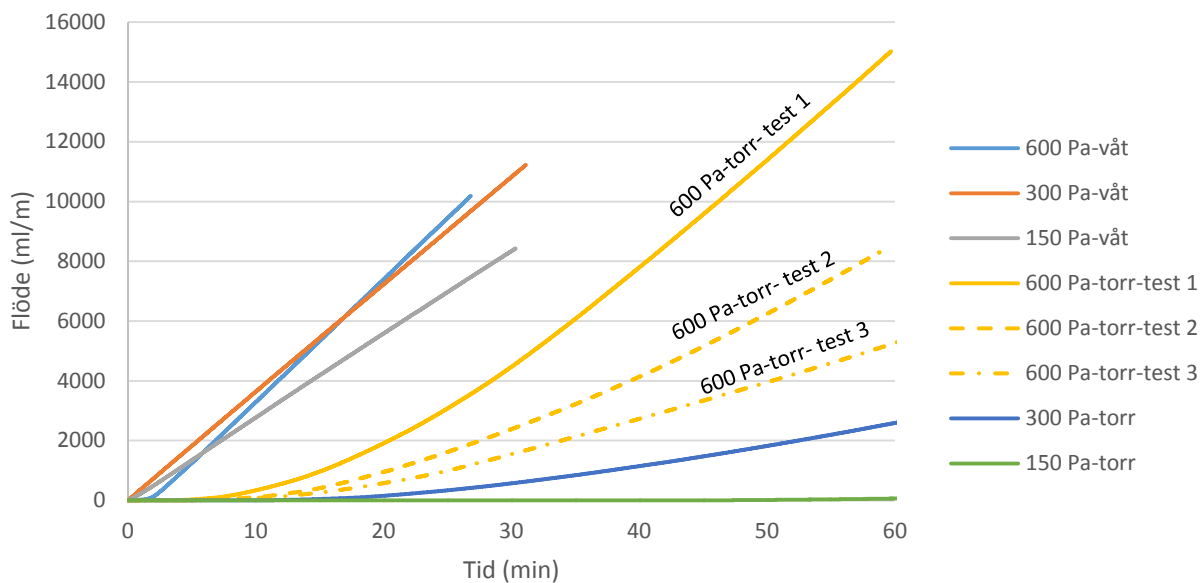
Figur 3.3 visar vattenflöden som uppmättes då putsen var torr respektive vattenmättad vid försökets igångsättande. I fallet då putsen är torr påverkar det yttre vattentrycket i behållaren i stor utsträckning. Ett högt vattentryck i behållaren ger ett större vattenflöde genom gränsskiktet. Vattenflödet skiljer uppemot två storleksordningar mellan fallen med yttre hydrostatiskt tryck på 600 respektive 150 pa. Figur 3.3 visar också att när putsen är torr, tar det flera minuter innan vattnet har runnit till botten av provkroppen. Fenomenet förklaras av att putsen inledningsvis absorberar det tillförda vattnet.

I fallen då putsen är vattenmättad påverkas vattenflödet genom gränsskiktet i mindre utsträckning av det yttre vattentrycket. En rimlig förklaring är att bildas ett inre vattentryck i gränsskiktet mellan putsen och isoleringen. För provkropparna som användes i undersökningen uppskattas detta inre vattentryck motsvara cirka 90 % av det totala vattentrycket.



Figur 3.3. Principiellt beteende gällande vattenflöde vid vattenmättad respektive torr puts.

I Figur 3.4 ses även effekten av att upprepa försöken med samma externa hydrostatiska tryck på 600 Pa. Vattenflödet mellan testomgång 1 och 3 minskar med ca 50 %. Här kan alltså samma effekt av avtagande vattenflöden observeras som iaktogs då vattenflödet genom sprickor i puts undersöktes i kapitel 1. Även i detta fall är det rimligt att anta att de avtagande vattenflödena beror på putsens självläkning, eventuellt kombinerat med effekten av att fibrer från stenullen lossnar och täpper till de vattenförande strukturerna i gränsskiktet mellan puts och isolering.



Figur 3.4. Effekten av tre upprepade försök på samma provkropp vid oförändrat hydrostatiskt tryck på 600 Pa.

Enligt tabell 3.3 redovisas försöksresultaten för alla provkropparna i form av vattenflöden mellan puts och isolering för situationer då putsen är vattenmättad respektive torr. I försöken med vattenmättad puts är de uppmätta skillnaderna vid olika externt hydrostatiskt tryck relativt små. Medelvärdet på vattenflödena landar på cirka 460 ml/min*m. Spridningen i resultaten är dock stor

och standardavvikelsen hamnar på cirka 320 ml/min*m. Den stora spridningen beror troligen till största delen på variationer i vidhäftningen mellan puts och isolering. Även skillnaderna i vattenflöde i provkroppar med armerad respektive oarmerad puts är försumbara. En möjlig förklaring till detta kan vara, åtminstone för den aktuella försöksserien, att det i putsen inte har bildats några vattenförande strukturer på grund av putsnätets placering.

Tabell 3.3 Vattenflöde mellan puts och isolering vid olika hydrostatiska tryck då putsen är torr respektive vattenmättad. Hälften av provkropparna har armeringsnät i putsen, hälften inte.

	Vattenflöde [ml/min*m]						
	Vattenmättad puts			Torr puts			
	Hydrostatiskt tryck [Pa]			Hydrostatiskt tryck [Pa]			
Provkropp	150	300	600	150	300	600	
1	258	311	327	18	68	301	Inget putsnät
2	132	139	135	0	20	49	Inget putsnät
3	462	705	617	22	158	363	Inget putsnät
4	215	233	233	1	31	131	Inget putsnät
5	273	295	278	26	57	124	Inget putsnät
6	1045	1049	729	15	199	555	Inget putsnät
7	294	318	345	0	75	293	Inget putsnät
8	615	648	779	33	93	544	Inget putsnät
9	738	771	636	18	84	382	Inget putsnät
10	1209	991	1422	11	188	580	Med putsnät
11	420	489	540	39	168	262	Med putsnät
12	647	844	898	58	112	384	Med putsnät
13	597	713	740	5	75	204	Med putsnät
14	165	213	197	1	42	61	Med putsnät
15	168	193	207	27	65	99	Med putsnät
16	278	361	380	1	43	252	Med putsnät
17	108	118	138	0	27	62	Med putsnät
18	132	150	171	6	57	91	Med putsnät
	Vattenflöde (ml/m*min)			Vattenflöde (ml/m*min)			
	Försökstid= 30 min			Försökstid= 60 min			
Medelvärde	431	475	487	16	87	263	Alla
Std. avvik.	312	299	331	16	54	172	
Medelvärde	448	497	453	15	87	305	Inget putsnät
Std. avvik.	282	289	224	11	55	169	
Medelvärde	414	452	522	16	86	222	Med putsnät
Std. avvik.	339	307	408	19	54	164	

Från tabell 3.3. framgår vidare att då putsen var torr blev medelvärdet av vattenflödena 16 (16), 87 (54) respektive 263 (172) ml/min*m vid externt hydrostatiskt tryck på 150, 300 respektive 600 Pa. Siffrorna i parentesen visar standardavvikelserna i ml/min*m. Det finns alltså en tydlig inverkan på vattenflödet på grund av det yttre hydrostatiska trycket - högre yttre hydrostatiskt tryck leder till

ökat vattenflöde. Det går dock inte att skönja någon tydlig effekt av putsarmeringen på vattenflödena.

En jämförelse av vattenflödena som erhålls vid plastbehållarens mynning respektive i provkropparna visar att flödena genom plastbehållarens mynning är mellan 5 600 – 17 900 ml/min*m, se Tabellerna 3.2 och 3.3. Skillnaden jämfört med flödena i gränsskiktet mellan puts och isolering är därmed mer än tiofaldig. Dessa resultat kan tolkas som att motståndet i gränsskiktet mellan puts och isolering är mycket större än motståndet vid plastbehållarens mynning mot gränsskiktet. Egenskaperna mellan puts och isolering samt det externa hydrostatiska trycket styr flödena i försöksuppställningen. Därför påverkar inte de stora skillnaderna i vattenflöde vid plastbehållarens mynning flödena efter putsningen. Detta gör att resultaten enligt Tabell 3.3 är att betrakta som korrekta.

I försöken är avståndet mellan stället för vattentillförsel och botten på provkroppen cirka 500 mm. Om provkroppen skulle vara kortare och putsen torr, skulle det inmatade vattnet snabbare nå botten. Större andel av det inmatade vattnet skulle dessutom nå botten, eftersom en kortare provkropp kräver mindre tillfört vatten för att fukta upp putsen.

Om provkroppen skulle vara längre och putsen vattenmättad vid inledningen av försöket, skulle vattenflödet genom provkroppen påverkas i mindre utsträckning av det yttre vattentrycket och i större utsträckning av provkroppens längd.

3.3 Slutsatser

Studiens viktigaste slutsatser är:

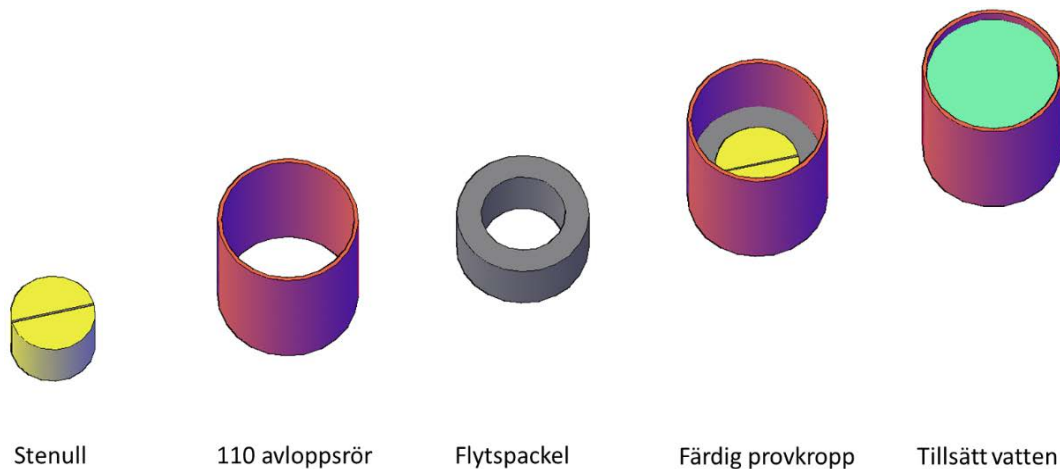
- Det är stor skillnad i vattenflöde i gränsskiktet mellan puts och isolering beroende på om putsen i samband med den externa vattentillförseln är torr eller vattenmättad;
- Flödena genom ett gränsskikt med torr puts ökar med ökande externt hydrostatiskt tryck;
- Motsvarande fenomen uppstår inte om putsen är vattenmättad;
- Vid upprepad vattentillförsel minskar vattenflödena genom gränsskiktet. Fenomenet kopplas i huvudsak till putsens självläkning. Även fibrer som lossnar från putsen och isoleringen kan bidra till att de vattenförande strukturerna täpps till med följden att vattenflödena minskar.

4. Studier av vattenflödet i glipor mellan stenullsskivor

För att få kunskap om hur bredden på glipor påverkar vattenflödet genom en skarv definierad av stenullsskivor, utfördes 30 tester. Glipornas bredd varierar mellan 0-1 mm i steg om 0,2 mm. Det hydrostatiska trycket i testerna sattes i likhet med tidigare undersökningar till 150, 300 och 600 Pa.

4.1 Undersökningens utformning

Provkropparna är uppbyggda av cirkulära bitar av stenull (Paroc Fas 2) med diametern 70 mm och tjockleken 50 mm. Stenullsbiten är delad längs diametern. Glipans bredd styrs till önskad storlek med hjälp av bladmått. Sidorna förseglas med epoxylim, varefter stenullsbiten gjuts fast med flytspackel i ett plaströr. För att ytterligare täta mot vattenläckage mellan plaströret, flytspacklet och stenullsisoleringen, förseglas ytan med epoxylim.



Figur 4.1. Provkroppen som används för att bestämma vattenflödet genom skarv i stenullsisolering.

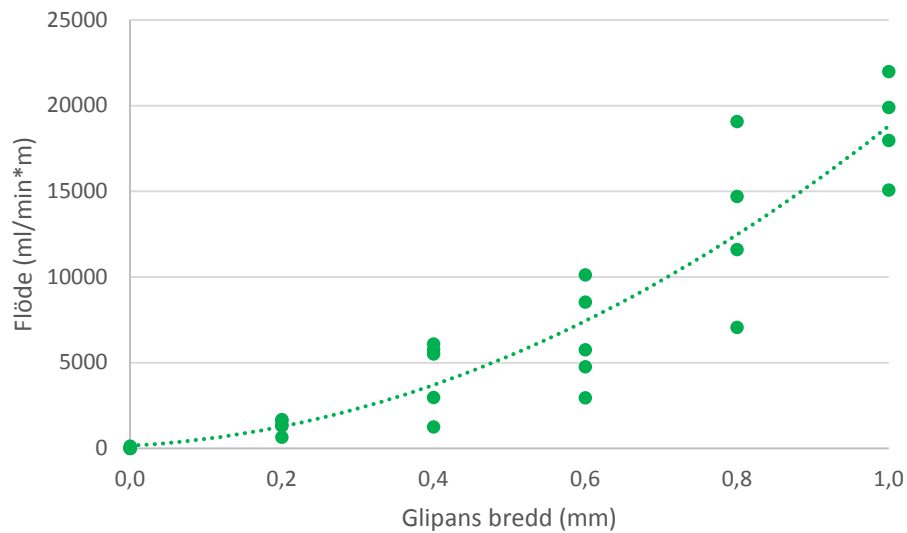
Enligt Tabell 4.1 nedan valdes bredden på glipan i stenullsskarven till 0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0 mm. Totalt användes 30 provkroppar.

Tabell 4.1. Försöksschema

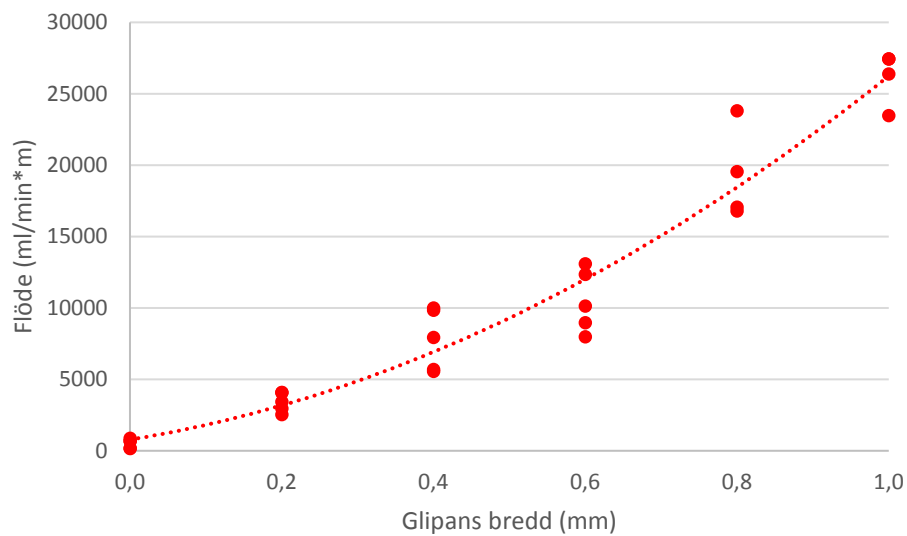
Bredd på skarv (mm)	Antal provkroppar (st)
0	5
0.2	5
0.4	5
0.6	5
0.8	5
1.0	5

4.2 Resultat

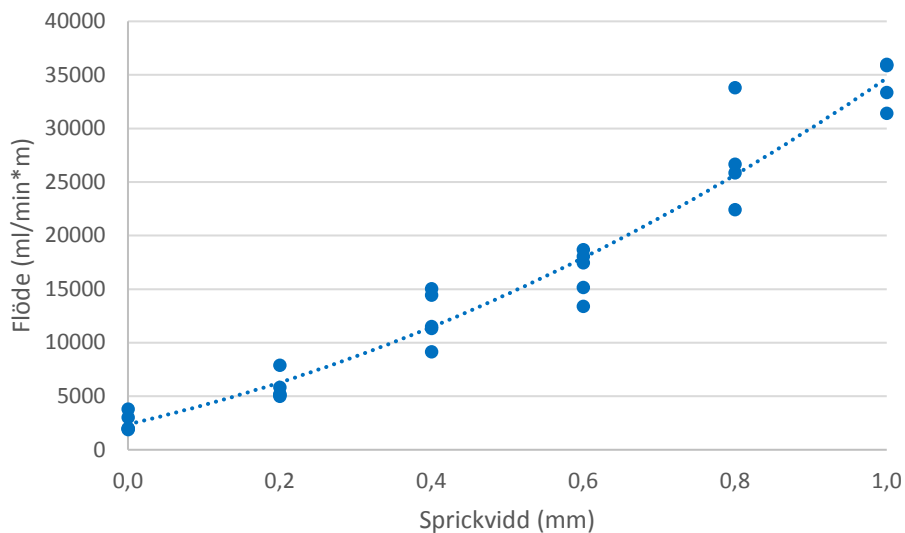
Resultaten från provningen visas i Figurerna 4.2 – 4.4. Vattenflödet ökar med ökande bredd på gliporna mellan skivskarvarna och kan approximeras med hjälp av ett polynom av andra ordningen. I likhet med fallet med sprickor definierade av puts, ökar vattenflödena med ökande hydrostatiskt tryck, se Figur 4.5.



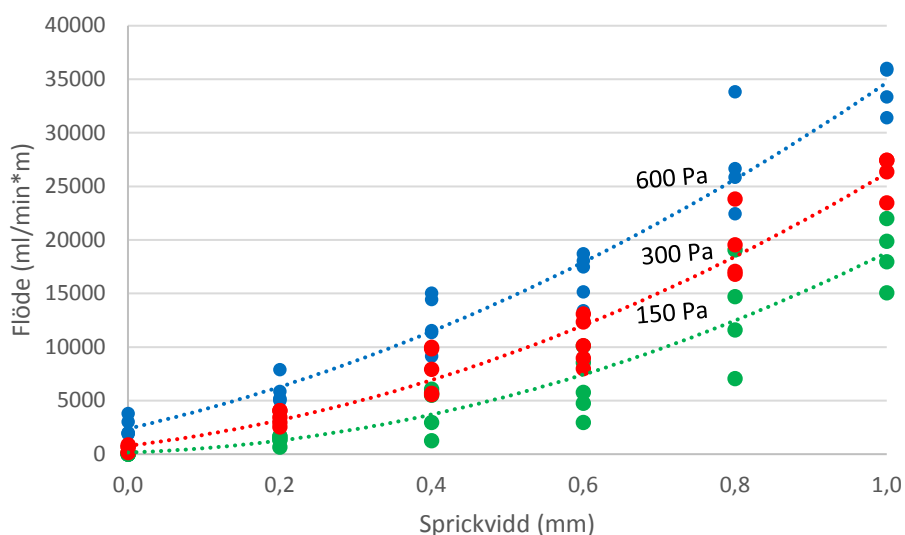
Figur 4.2. Vattenflödet genom skarv mellan isolering vid hydrostatiskt tryck 150 Pa.



Figur 4.3. Vattenflödet genom skarv mellan isolering vid hydrostatiskt tryck 300 Pa.



Figur 4.4. Flödet genom skarv mellan isolering, vattentryck 600 Pa.



Figur 4.5. Sammanställning av resultaten enligt Figur 4.2 - 4.4.

Givet att bredden på gliporna mellan isoleringen är densamma som bredden på putssprickorna, är vattenflödena i denna delstudie av samma storleksordning som vattenflödena observerade i försöken beskrivna i kapitel 2, jämför Figur 4.5 med Figur 2.6. En väsentlig skillnad är dock att det genom isolerskarvar inträffar ett visst vattenflöde även när glipans uppskattade bredd är noll. Av praktiska orsaker kunde eventuella motsvarande vattenflöden inte observeras i fallet med putssprickor.

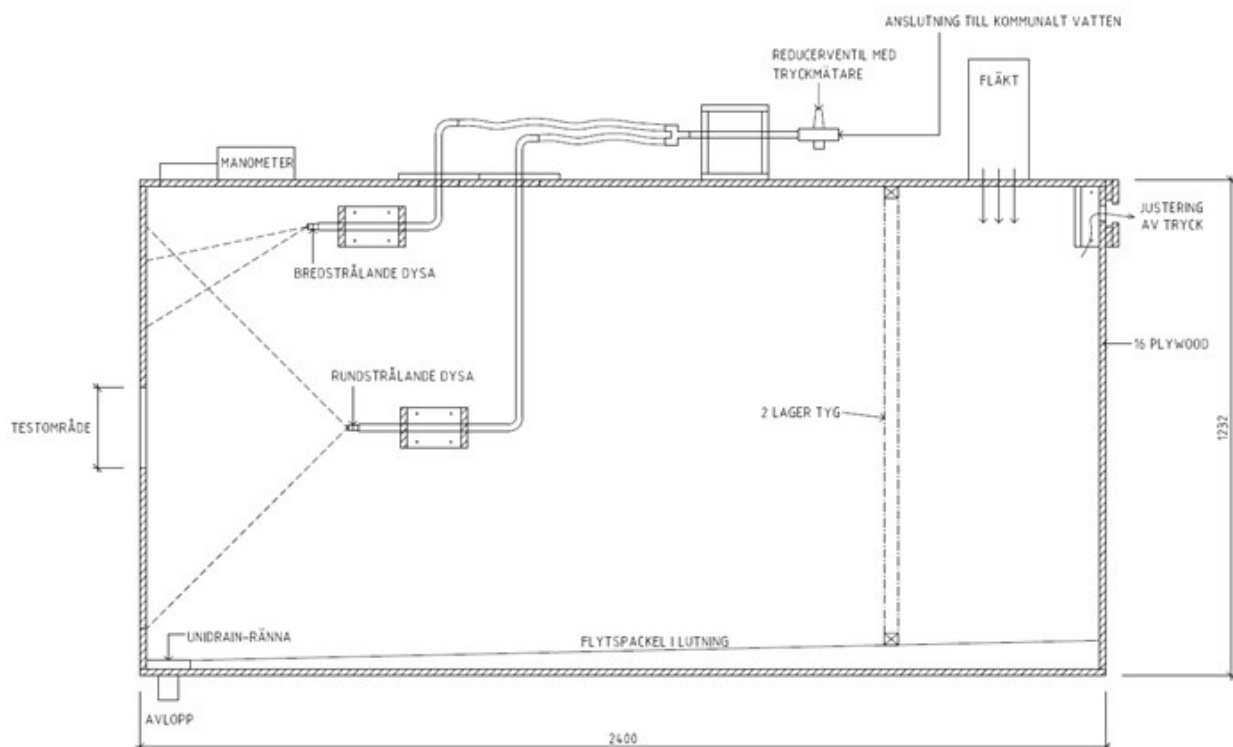
5. Studier av vattenflödet genom spricka i puts vid dynamiska förhållanden

I denna testomgång studeras vattenflödet genom spricka i puts vid förhållanden som liknar slagregn mot en putsad fasad. Slagregnslika förhållanden eftersträvas genom att vattenpåföringen mot sprickan sker i form av en vattenfilm som rinner på putsens yta i kombination med ett kontrollerat konstant övertryck över sprickan. Provkroppen placeras i vertikalt läge, vilket motsvarar förhållandena i en fasad. Sprickbredden varierar mellan 0.1-0.4 mm, vattenfilmsflödet mellan 500-3000 ml/min·m och övertrycket mellan 0-1000 Pa. Tester genomförs även enligt metod beskriven i kapitel 1 och 2, dvs genom att utsätta provkroppen för hydrostatiskt tryck. På detta sätt erhålls ett mått på skillnaderna i vattenflöden genom en spricka vid dynamisk respektive hydrostatisk vattenpåföring.

5.1. Experimentellt program

A Försöksutrustning

Försöksutrustningen har utvecklats vid LTHs avdelning för konstruktionsteknik och är således ingen kommersiell produkt. Inspiration till designen är hämtad från standarden: *SS-EN 12865 Fukt- och värmeteknisk funktion hos byggkomponenter och byggnadsdelar - Bestämning av yttväggars täthet mot slagregn vid pulserande tryck*. Figur 5.1 visar ett schematiskt tvärsnitt genom den vid LTH utvecklade försöksutrustningen.

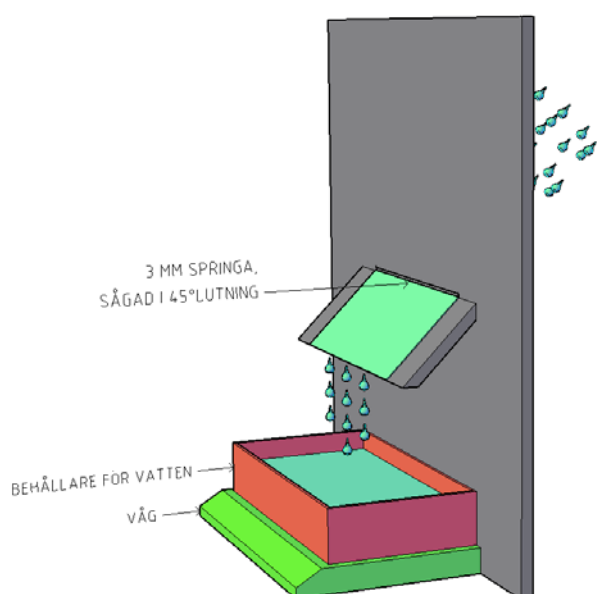


Figur 5.1. Försöksutrustning för mätning av vattenflöde genom spricka i puts, i genomskärning.

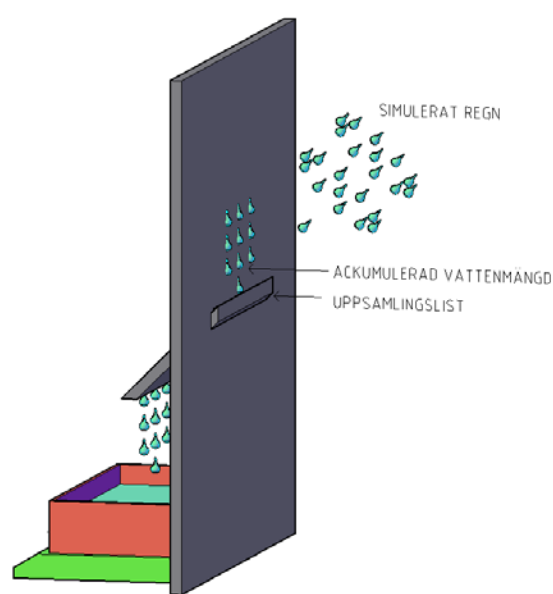
Principen är att två dysor sprutar vatten, varav den ena direkt på provkroppen. Den andra dysan träffar ovanför provkroppen med den huvudsakliga funktionen att åstadkomma en rinnande vattenfilm på väggen. Övertrycket i försökskammaren skapas med en fläkt åtskild med två lager kraftigt tyg, detta för att undvika att luftströmmarna påverkar vattendropparnas bana. Övertrycket

mäts med en manometer placerad i taket, i försökskammarens framkant. För att styra övertrycket till ett förbestämt värde, finns möjligheten att öppna och stänga en skjutbar lucka placerad i bakkant vid fläkten. De övertryck som används är 50, 100, 150, 300, 600 och 1000 Pa.

I försöken används olika vattenmängder som träffar provkroppen i form av en rinnande vattenfilm. Mängden vatten som når sprickan har kalibrerats genom att använda en speciell front som monteras där den egentliga provkroppen ska placeras. Enligt Figur 5.2 har en 3 mm bred och 200 mm lång spalt sågats i en plywoodskiva. Spalten lutar 45 grader mot skivans plan, vilket gör det lättare att leda ut vattnet som träffar skivan i försökskammaren. Genom att förflytta dysorna steglöst och mäta vattenmängden som leds genom spalten kan vattenfilmsflödet bestämmas uttryckt i ml/min·m, dvs. vattenmängden som passerar per minut och breddmeter spalt. Vattenfilmsflödena som används är 500, 1000, 2000 och 3000 ml/min·m.



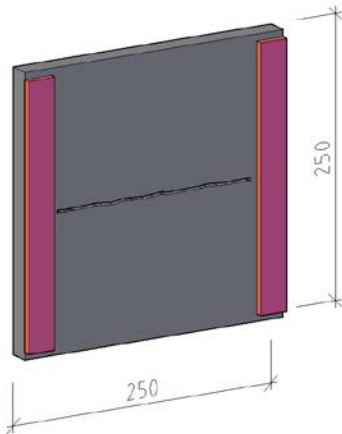
Figur 5.2a. Framsidan på försökskammarens frontstycke som användes för att kalibrera den vattenmängd som passerar spalten (motsvarande den position där sprickan i provkroppen kommer att befinna sig).



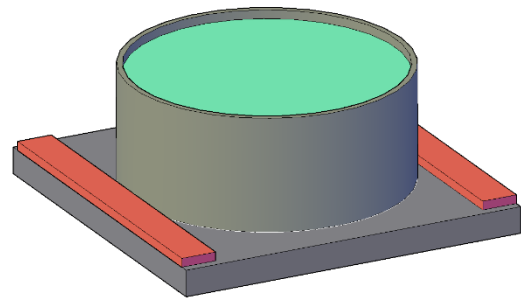
Figur 5.2b. Baksidan på försökskammarens frontstycke – vattenfilmen som rinner på väggen samlas upp och leds ut till vågen som finns på framsidan.

B Provkroppen

Provkropparna är uppbyggda av cirka 15 mm puts och har kvadratisk form med måtten 250x250 mm, se Figur 5.3. Kvaliteten på putsen och bestämning av sprickvidd utförs enligt kapitel 2. För att fixera sprickbredden limmades två plattjärn av aluminium limmats fast med epoxy, se Figur 5.3a. Efter att provkroppen testades under dynamiska förhållanden i försökskammaren, limmades ett avloppsrör fast för vidare tester genom hydrostatiskt vattentryck, se Figur 5.3b



Figur 5.3a. Provkropp som testas under dynamiska förhållanden.



Figur 5.3b. Provkropp som testas genom hydrostatiskt tryck

C Försöksschema

Totalt testas 14 provkroppar som var och en utsätts för ett övertryck på 0, 50, 100, 150, 300, 600 och 1000 Pa kombinerat med ett vattenfilmsflöd mot sprickan på 500, 1000, 2000, 3000 ml/min·m. Samma provkroppar testas sedan för hydrostatiskt vattentryck på 50, 100, 150, 300, 600 och 1000 Pa. Försökstiden varierar mellan 10-30 min beroende på sprickbredd. Vattnet som rinner genom sprickan samlas upp av ett kärl placerat på en våg, vilken registrerar vikt och tid. Totalt på samma provkropp utförs 28 tester med simulerat slagregn och övertryck samt 6 tester med hydrostatiskt tryck. Sprickbredderna i provkropparna visas i Tabell 5.2.

Tabell 5.1. Försöksschema, övertryck, vattenfilmsflöde samt hydrostatiskt som provkropparna utsätts för.

Övertryck [Pa]	Vattenfilmsflöde mot sprickan [ml/min·m]	Hydrostatiskt tryck [Pa]
0	500, 1000, 2000, 3000	-
50	500, 1000, 2000, 3000	50
100	500, 1000, 2000, 3000	100
150	500, 1000, 2000, 3000	150
300	500, 1000, 2000, 3000	300
600	500, 1000, 2000, 3000	600
1000	500, 1000, 2000, 3000	1000

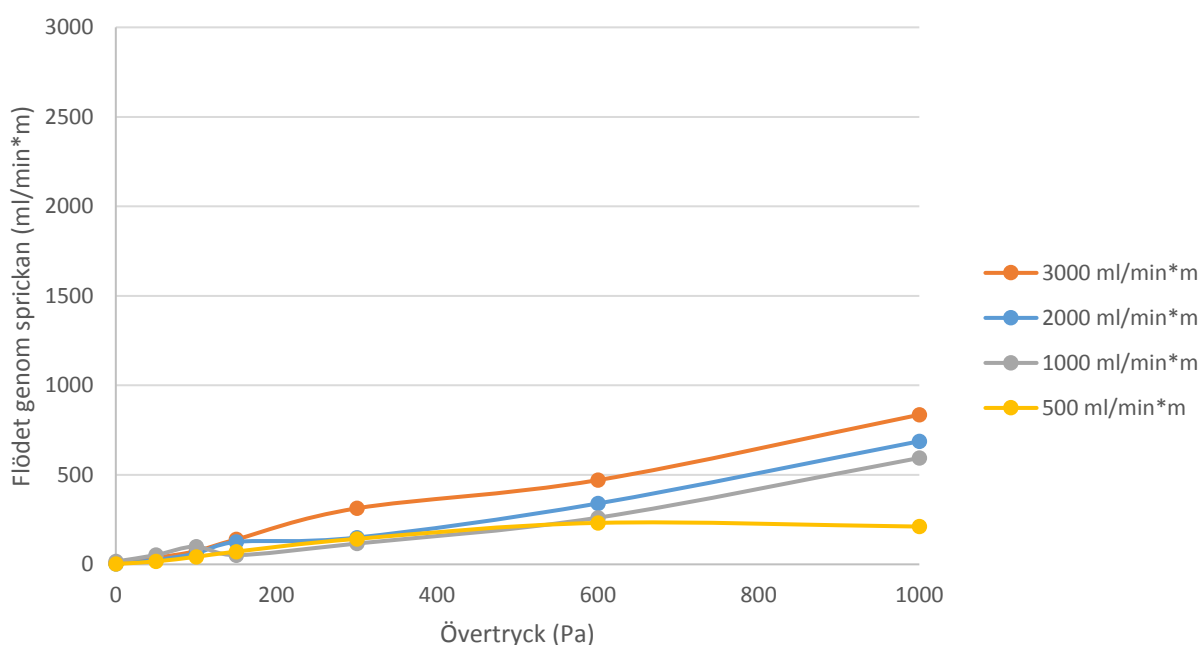
Tabell 5.2. Sprickornas bredd på de olika provkropparna.

Intervall [mm]	Sprickbredd [mm]
0.06-0.15	0.11, 0.11, 0.13, 0.13
0.16-0.25	0.16, 0.20, 0.23, 0.24
0.26-0.35	0.28, 0.29, 0.32, 0.35
0.36-0.45	0.38, 0.39, 0.39, 0.39

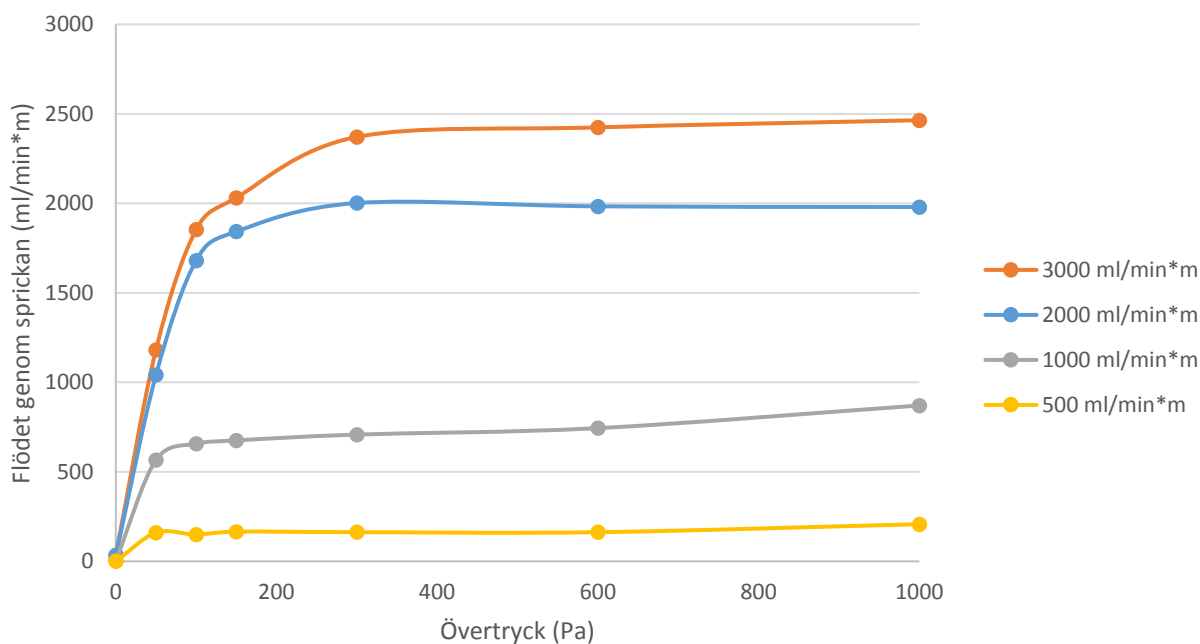
5.2 Resultat och diskussioner

A Allmänt

Figureerna 5.4 och 5.5 visar principiellt beteende vad gäller vattenflöden genom en smal (sprickbredd 0.11 mm) respektive en bredare spricka (sprickbredd 0.39 mm) vid dynamisk, slagregnsliknande, belastning. Det framgår att det principiellt är stor skillnad mellan hur vattenflödet genom sprickan påverkas av det tillgängliga vattnet som tillförs genom vattenfilmsflödet respektive övertrycket i försökskammaren.



Figur 5.4. Principiellt beteende gällande vattenflöde genom spricka i puts som funktion av tillgängligt vatten (vattenfilmsflöde), sprickvidd=0.11 mm.



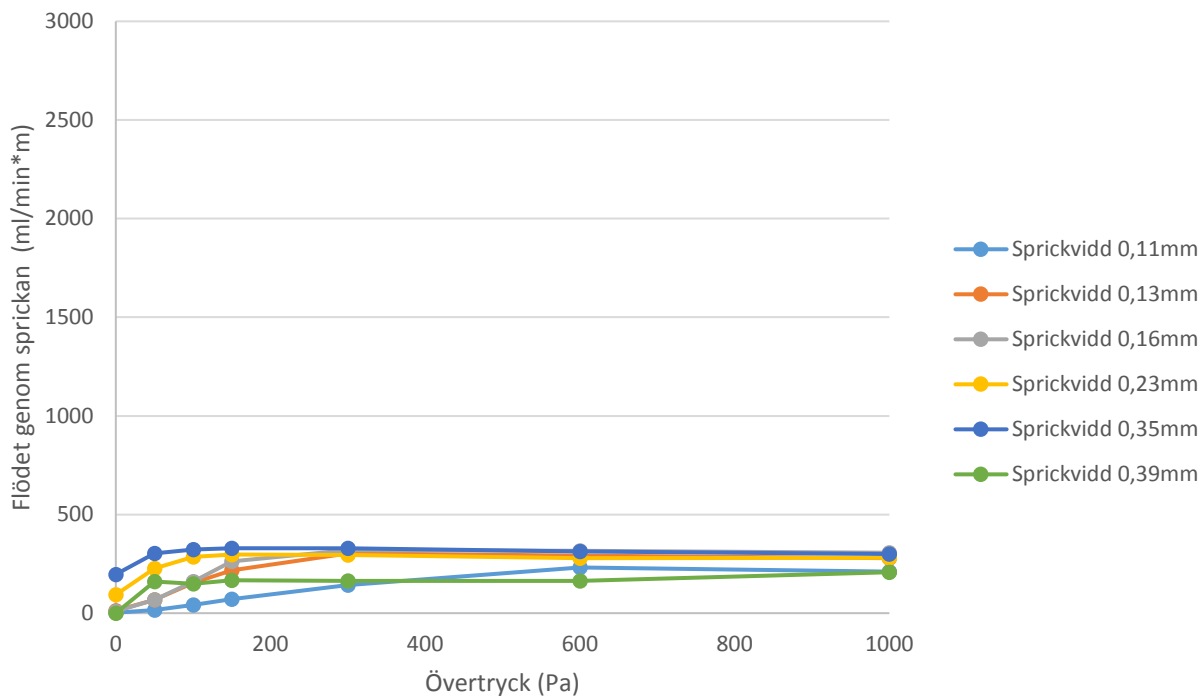
Figur 5.5. Principiellt beteende gällande vattenflöde genom spricka i puts som funktion av tillgängligt vatten (vattenfilmsflöde), sprickvidd=0.39 mm.

Vid en sprickbredd på 0.11 mm, se Figur 5.4, påverkar inte vattenfilmsflödet mot sprickan i någon större utsträckning på vattenmängden som passerar sprickan, även om tillgängligt vatten sexfaldigas från 500 till 3000 ml/min*m. Upp till cirka 150-200 Pa övertryck är påverkan försumbar medan vid högre övertryck och ökande vattenfilmsflöde kan en marginell ökning i vattengenomströmning observeras.

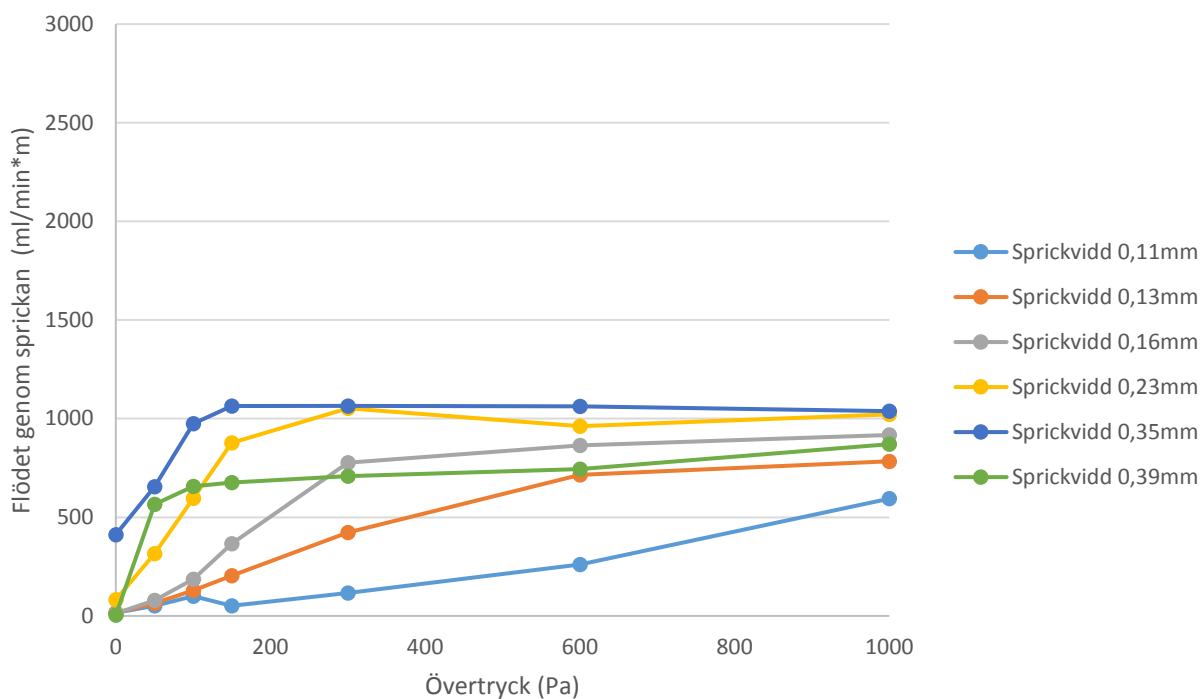
Vid en sprickbredd på 0.39 mm, se Figur 5.5, påverkas vattenflödet genom sprickan tydligt av mängden tillgängligt vatten. Störst ökning i vattenflöde genom sprickan skedde vid övertryck upp till 200 Pa, varefter responsen blev tämligen konstant.

B Inverkan av vattenfilmsflödets storlek

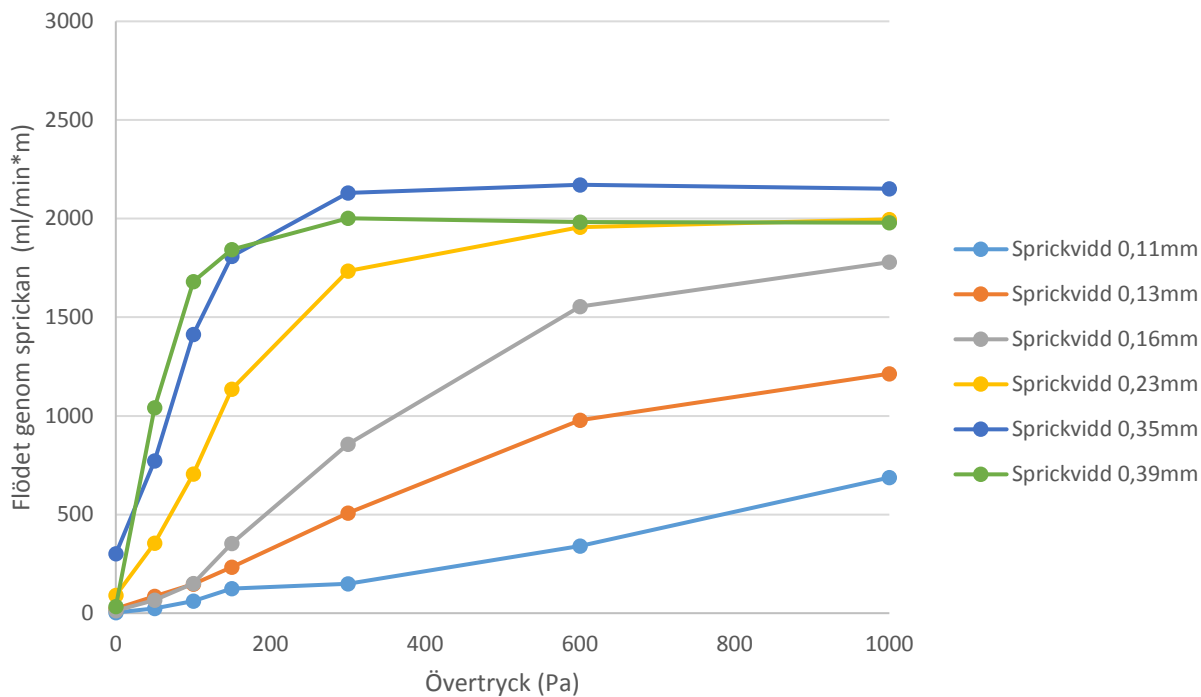
I Figurerna 5.6 - 5.9 redovisas inverkan av olika vattenfilmsflöden mot sprickan. Enbart ett urval av försöksresultaten visas för att tydligare se responsen. Vid låga vattenfilmsflöden (500 ml/min*m) mot sprickan och övertryck över cirka 300 Pa, se Figur 5.6, är vattenflödet genom sprickan tämligen oberoende av både sprickbredd och övertryck. Vid högre vattenfilmsflöden (2-3000 ml/min*m), se Figurerna 5.8 - 5.9, påverkas vattenflödet genom sprickan starkt av sprickbredden men bara i begränsad omfattning av övertrycket, speciellt vid övertryck över 300 Pa. I Figur 5.8 kan konstateras att vid sprickbredder över 0.23 mm och övertryck högre än 300 Pa, är vattenflödet genom sprickan lika med eller mer än vattenfilmsflödet mot sprickan. Fenomenet har så här långt inte kunnat förklaras.



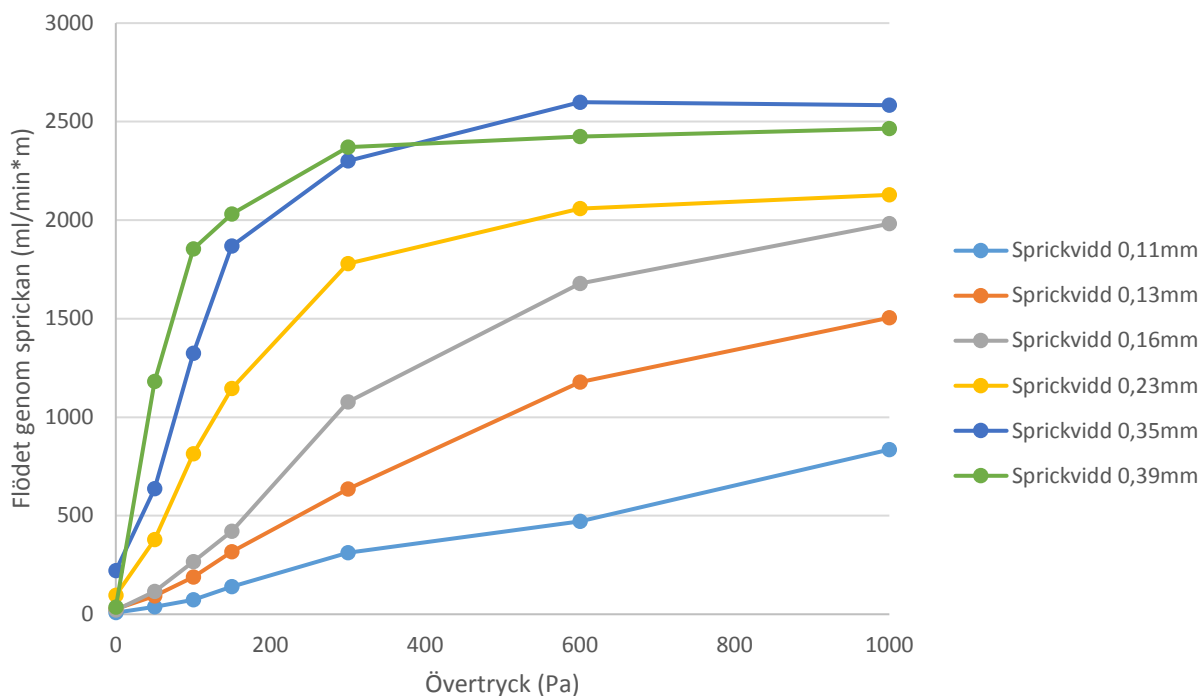
Figur 5.6. Vattenflödet genom sprickan som funktion av övertrycket och sprickbredden, vattenfilmsflödet mot sprickan är 500 ml/min*m.



Figur 5.7. Vattenflödet genom sprickan som funktion av övertrycket och sprickbredden, vattenfilmsflödet mot sprickan är 1000 ml/min*m.



Figur 5.8. Vattenflödet genom sprickan som funktion av övertrycket och sprickbredden, vattenfilmsflödet mot sprickan är 2000 ml/min*m.



Figur 5.9. Vattenflödet genom sprickan som funktion av övertrycket och sprickbredden, vattenfilmsflödet mot sprickan är 3000 ml/min*m.

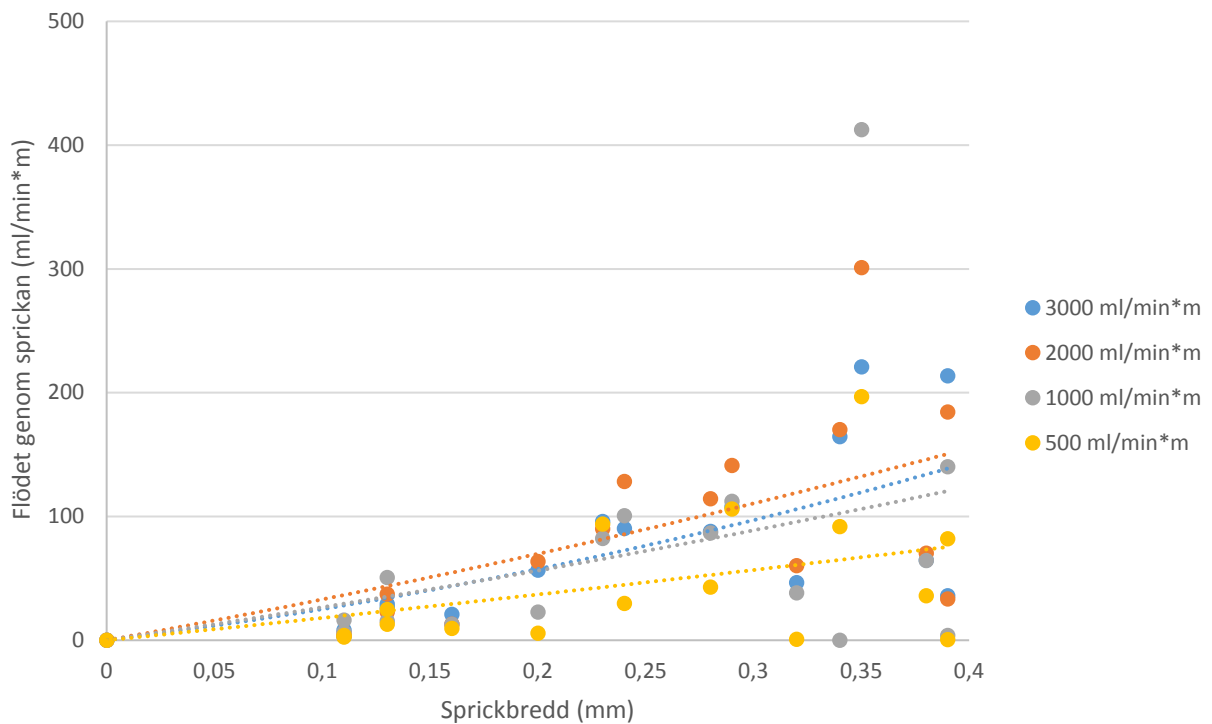
C Inverkan av konstant övertryck

I Figurerna 5.10–16 redovisas inverkan av övertryckets inverkan på vattenflödena genom en spricka i putsen. I varje figur visas en kurvpassning för varje nivå på vattenfilmsflödet. Den valda

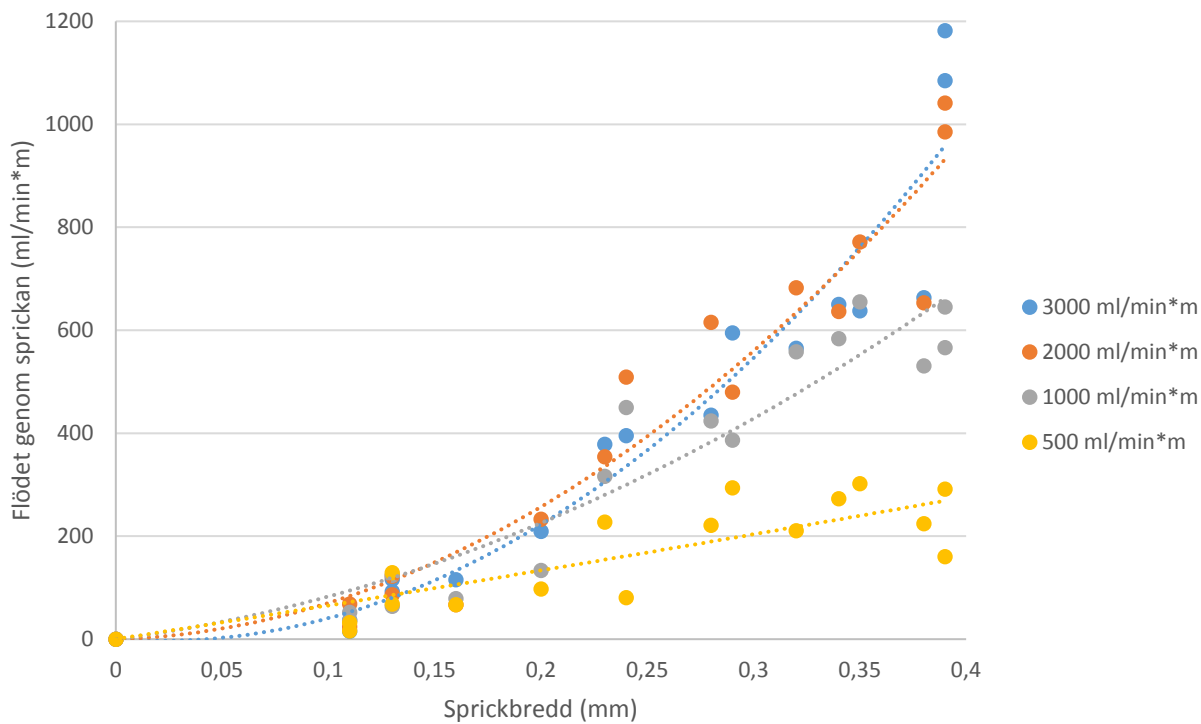
kurvpassningen utgörs av ett polynom av andra ordningen.

Då det saknas övertryck, dvs. övertrycket är 0 Pa, är det som svårast att se ett klart mönster pga. den stora variabiliteten, se Figur 5.10. Med hjälp av kurvpassningen är det dock möjligt att se att det finns en trend innebärande att större vattenfilmsflöde mot sprickan och större sprickbredd ger större vattenflöde genom sprickan.

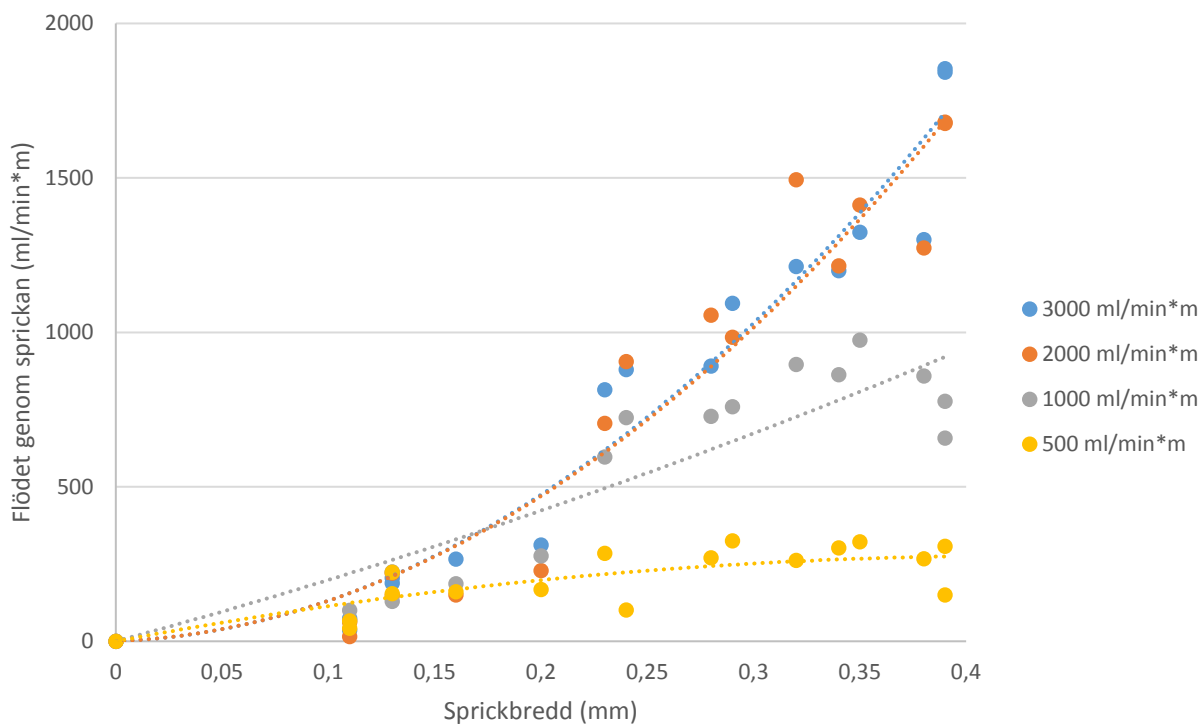
Redan vid ett övertryck på 50 Pa är det möjligt att klart se responsen på dels sprickbredd dels vattenfilmsflöde mot sprickan, se Figur 5.11. Ökningen i vattenflöde genom sprickan avtar dock med ökande vattenfilmsflöde. Således observeras inte någon ökning av vattenflödena genom sprickan då vattenfilmsflödena ökar från 2000 till 3000 ml/min*m vid övertryck på 50 – 100 Pa, se Figurerna 5.11 – 5.12. Vid högre övertryck och ökande vattenfilmsflöden observeras högre vattenflöden genom sprickan, se Figurerna 5.13 - 5.16.



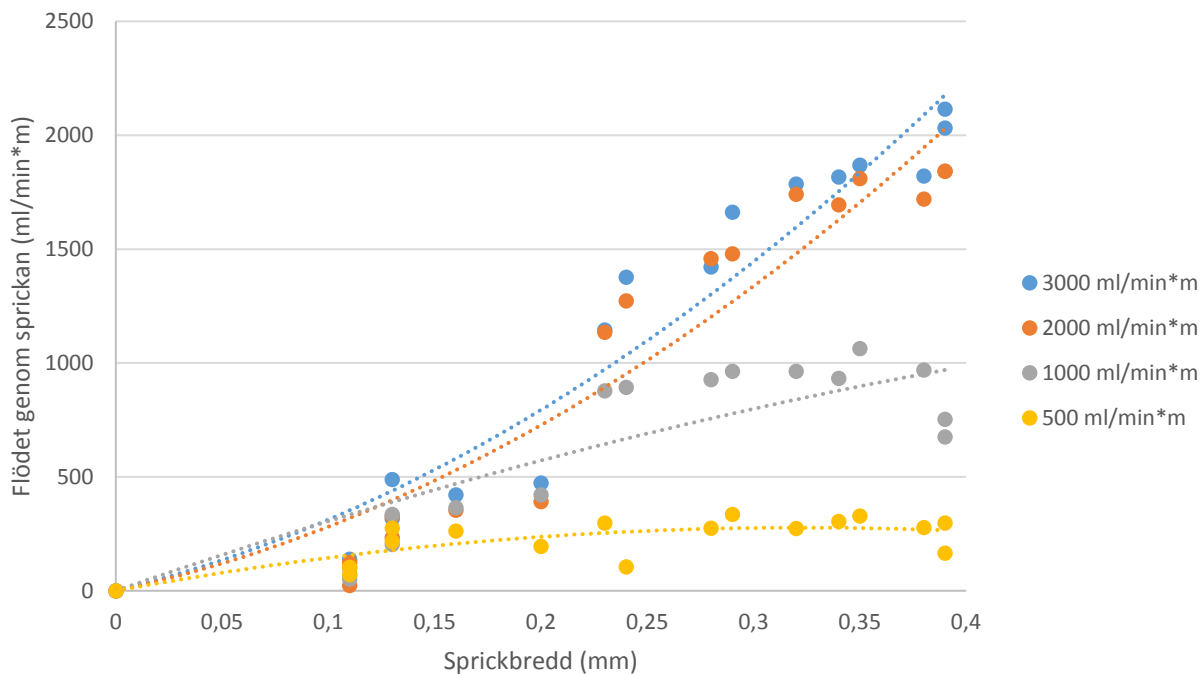
Figur 5.10. Vattenflöden genom sprickan som funktion av sprickbredden och vattenfilmsflödet mot sprickan vid frånvaro av övertryck (övertrycket är 0 Pa). Kurvpassning med ett polynom av andra ordningen.



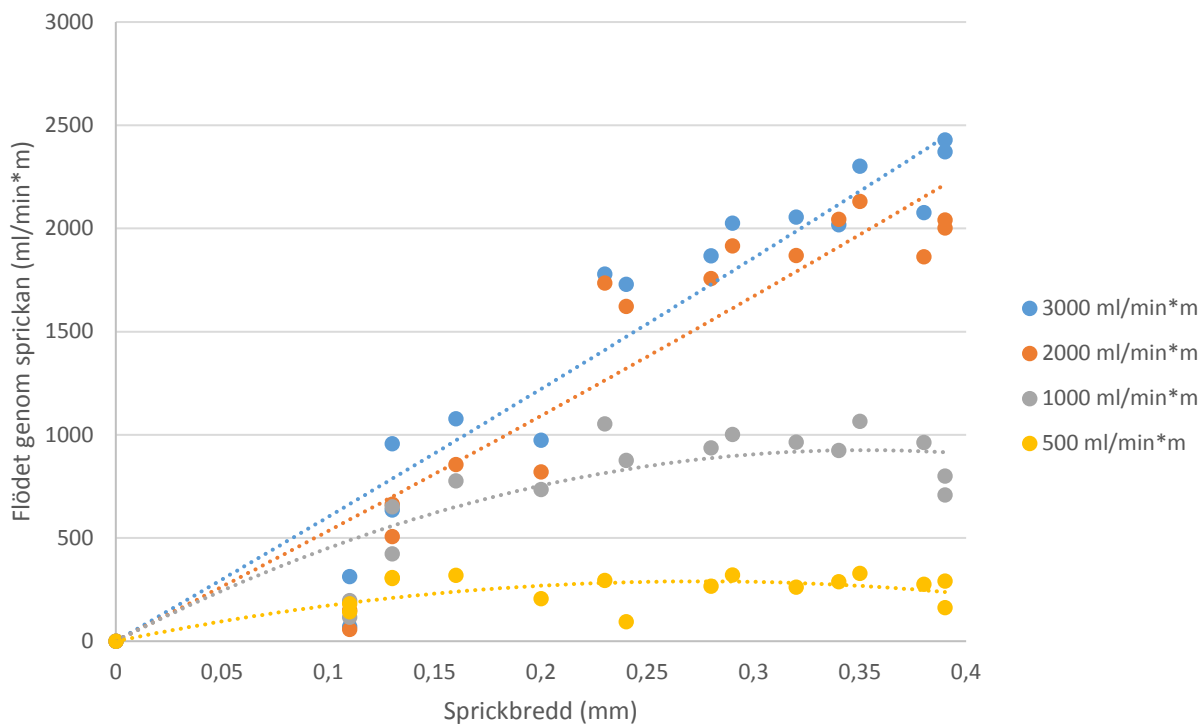
Figur 5.11. Vattenflöden genom sprickan som funktion av sprickbredden och vattenfilmsflödet mot sprickan vid övertryck på 50 Pa. Kurvpassning med ett polynom av andra ordningen.



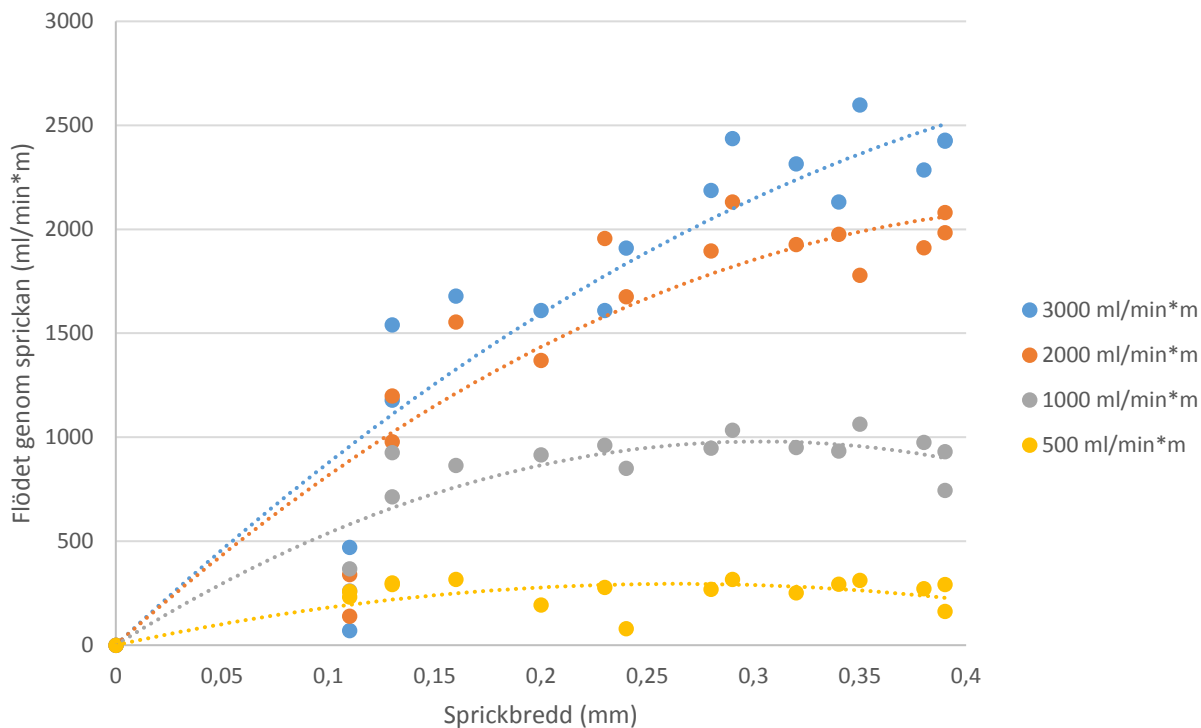
Figur 5.12. Vattenflöden genom sprickan som funktion av sprickbredden och vattenfilmsflödet mot sprickan vid övertryck på 100 Pa. Kurvpassning med ett polynom av andra ordningen.



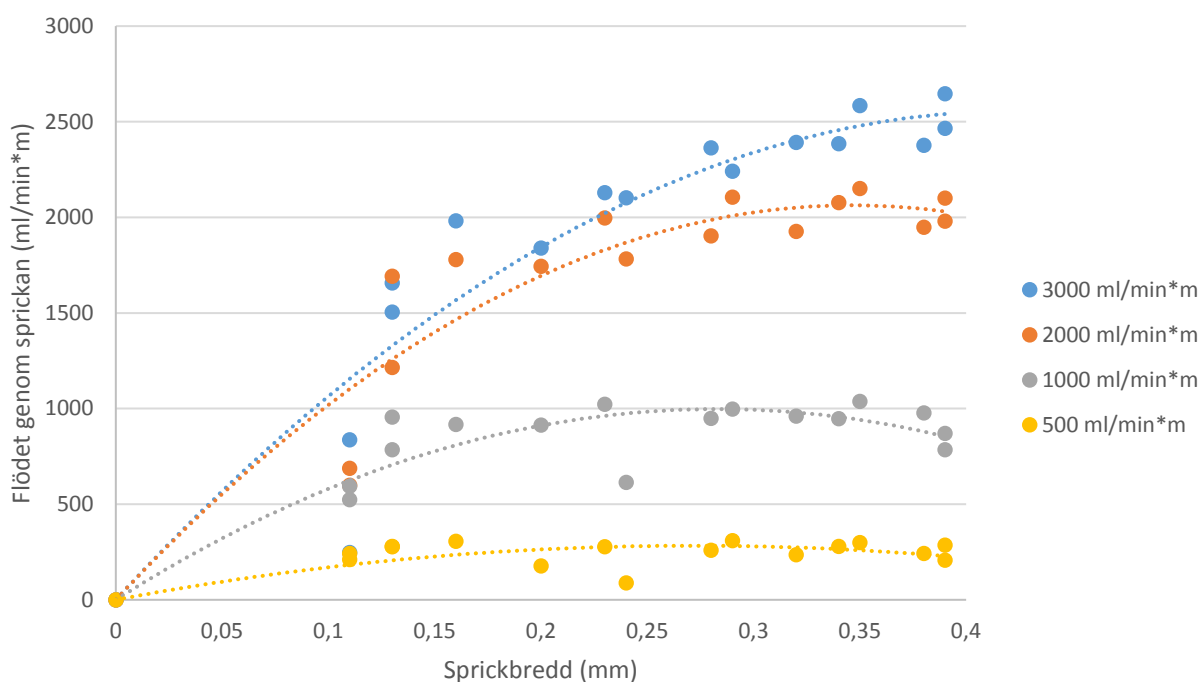
Figur 5.13. Vattenflöden genom sprickan som funktion av sprickbredden och vattenfilmsflödet mot sprickan vid övertryck på 150 Pa. Kurvpasning med ett polynom av andra ordningen.



Figur 5.14. Vattenflöden genom sprickan som funktion av sprickbredden och vattenfilmsflödet mot sprickan vid övertryck på 300 Pa. Kurvpasning med ett polynom av andra ordningen.



Figur 5.15. Vattenflöden genom sprickan som funktion av sprickbredden och vattenfilmsflödet mot sprickan vid övertryck på 600 Pa. Kurvpassning med ett polynom av andra ordningen.



Figur 5.16. Vattenflöden genom sprickan som funktion av sprickbredden och vattenfilmsflödet mot sprickan vid övertryck på 1000 Pa. Kurvpassning med ett polynom av andra ordningen.

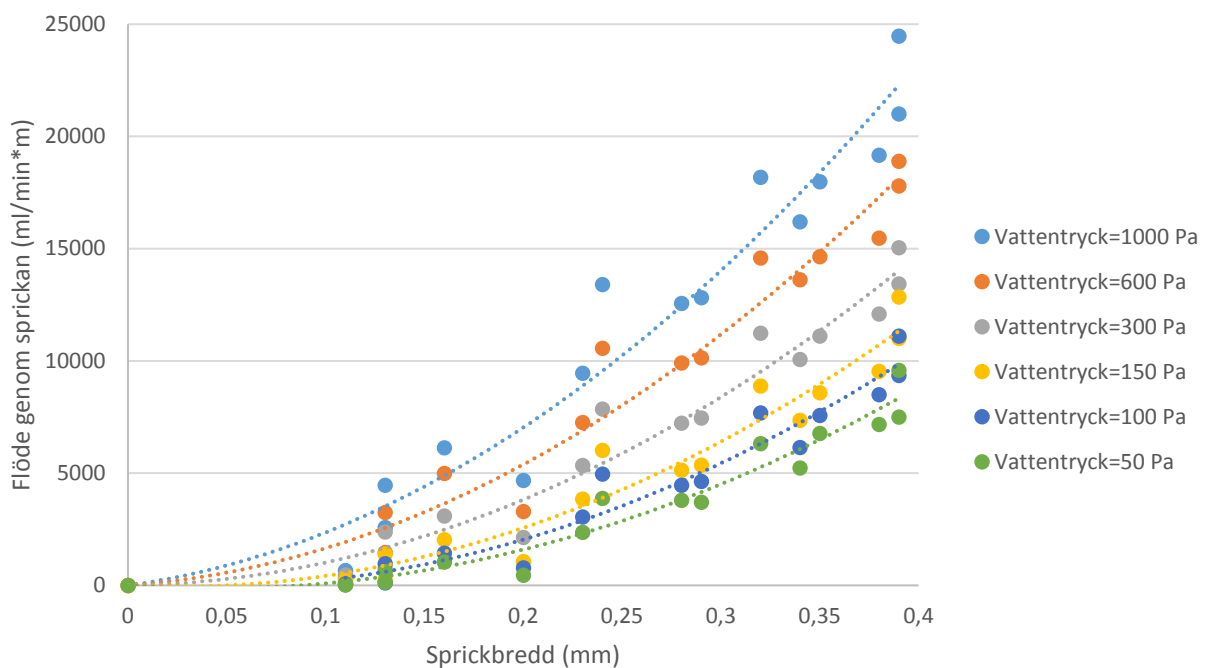
D Vattenflöden genom sprickan vid hydrostatiskt tryck

Samma provkroppar som testades för dynamiskt vattenttryck i försökskammaren beskriven i avsnitt 5.1, testas den här gången för hydrostatiskt tryck enligt metod presenterad i kapitel 1 och 2 i denna

rapprt. I Figur 5.17 redovisas alla resultaten från försöken där provkropparna utsattes för hydrostatiskt tryck på 50, 100, 150, 300, 600 och 1000 Pa, vilket motsvarar en vattenpelare på 5, 10, 15, 30, 60 och 100 mm.

För varje provserie med hydrostatiskt tryck har en passning gjorts till mätdata i form av ett polynom av andra graden. På detta sätt är det lättare urskilja trender samtidigt som det blir möjligt att prediktera vattenflöden vid olika sprickbredd samt hydrostatiskt tryck. Det kan tydligt urskiljas att det finns en logisk ordning på andragsgradskurvorna - ju större sprickbredd och hydrostatiskt tryck desto mer vatten passerar sprickan.

En jämförelse av vattenflödena erhållna i denna delstudie med motsvarande vattenflöden i kapitel 2, jämför Figur 5.17 med Figur 2.6, visar att vattenflödena i denna delstudie i genomsnitt är ca tre gånger större. En möjlig förklaring till denna skillnad är att provkropparna i denna delstudie har belastats fler gånger jämfört med provkropparna som användes i delstudien i kapitel 2, med följden att sprickornas skrovlighet och därmed deras motstånd har minskat.



Figur 5.12. Vattenflöde genom sprickan som funktion av sprickbredd och hydrostatiskt tryck. Streckade linjer är passning till mätdata i form av ett polynom av andra ordningen.

E Jämförelse av vattenflödena genom sprickan vid dynamiska förhållanden vs belastning med hydrostatiskt tryck

I Figurerna 5.18–21 visas förhållandet mellan vattenflöden från försöken med dynamiska förhållanden gentemot belastning med hydrostatiskt tryck. Resultaten från försöken där vattenfilmbelastningen är 500, 1000, 2000 och 3000 ml/min*m jämförs alltså med resultaten från försöket med hydrostatiskt tryck genom att beräkna en faktor k som definieras som

$$k = \frac{f_{dyn}}{f_{stat}} \cdot 100 (\%)$$

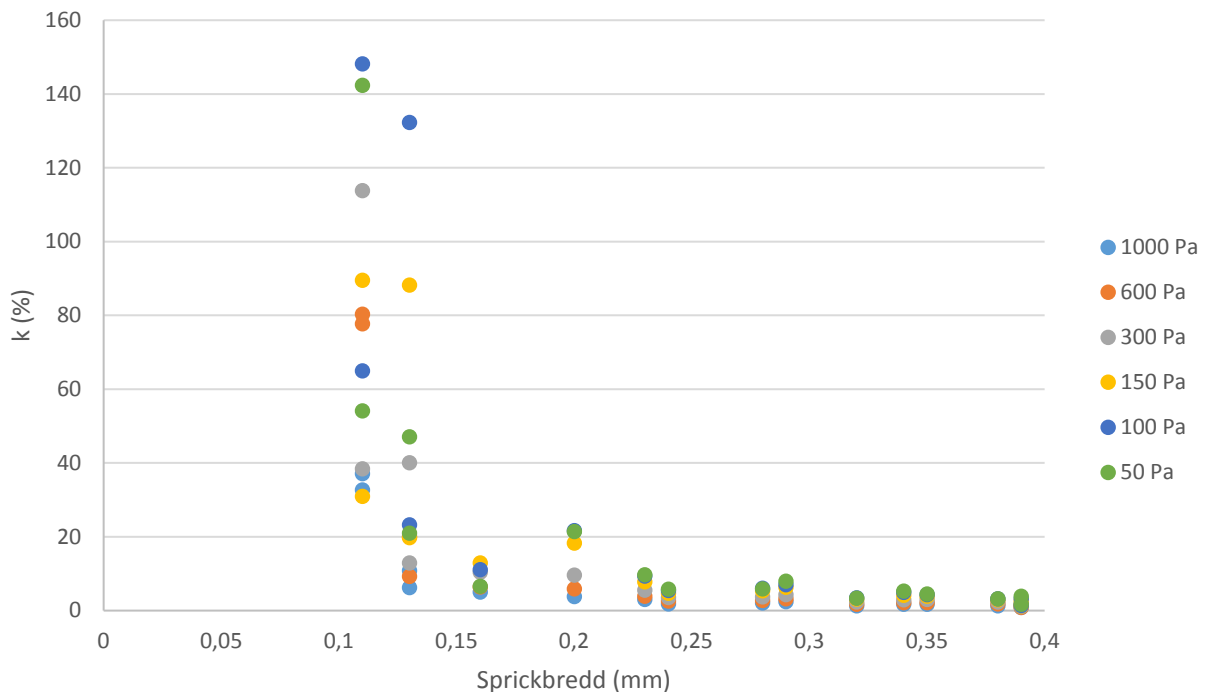
där

f_{dyn} är vattenflödet genom sprickan orsakat av vattenfilmbelastningen på 500, 1000, 2000 och 3000 ml/min*m mot sprickan vid övertrycken 50, 100, 150, 300, 600 och 1000 Pa;

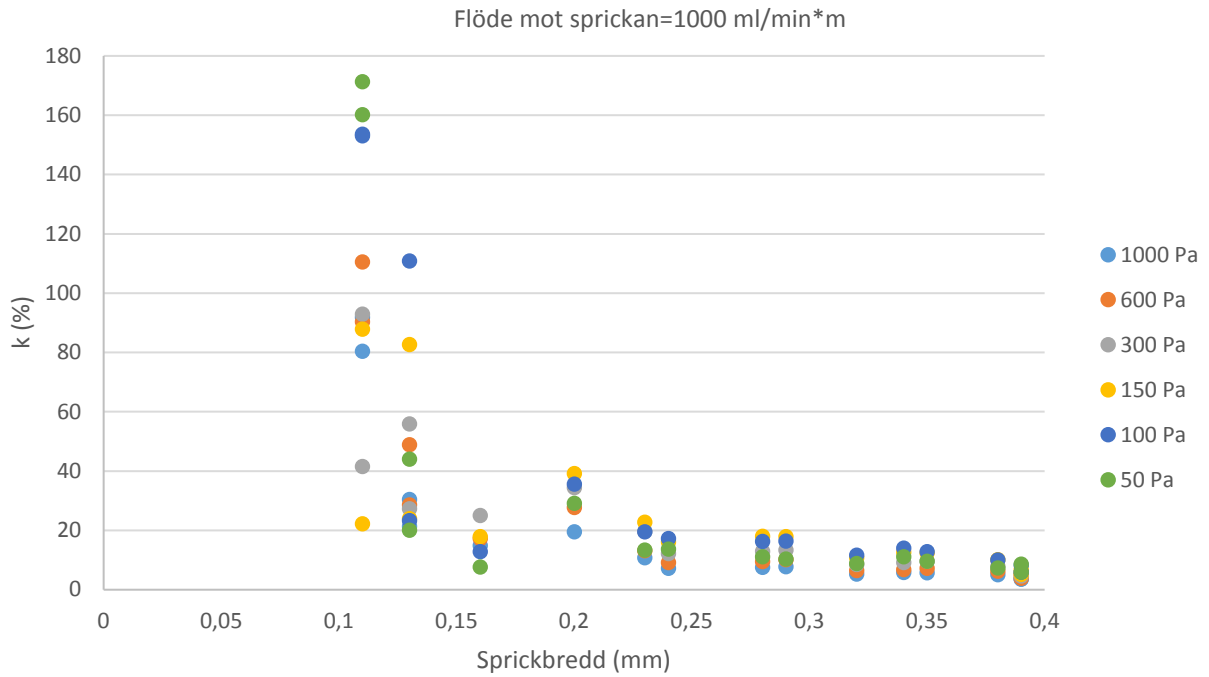
f_{stat} är vattenflödet genom sprickan orsakat av ett hydrostatiskt tryck på 50, 100, 150, 300, 600 och 1000 Pa.

När sprickbredden är mindre än cirka 0.15 mm är den mängd vatten som passerar sprickan i en del fall större vid dynamisk belastning jämfört med belastning genom hydrostatiskt tryck, dvs förhållandet $k > 100 \%$. I genomsnittet på förhållandet k är dock mindre än 1, vilket indikerar att det generellt sett passerar mindre mängd vatten genom sprickan vid dynamisk belastning.

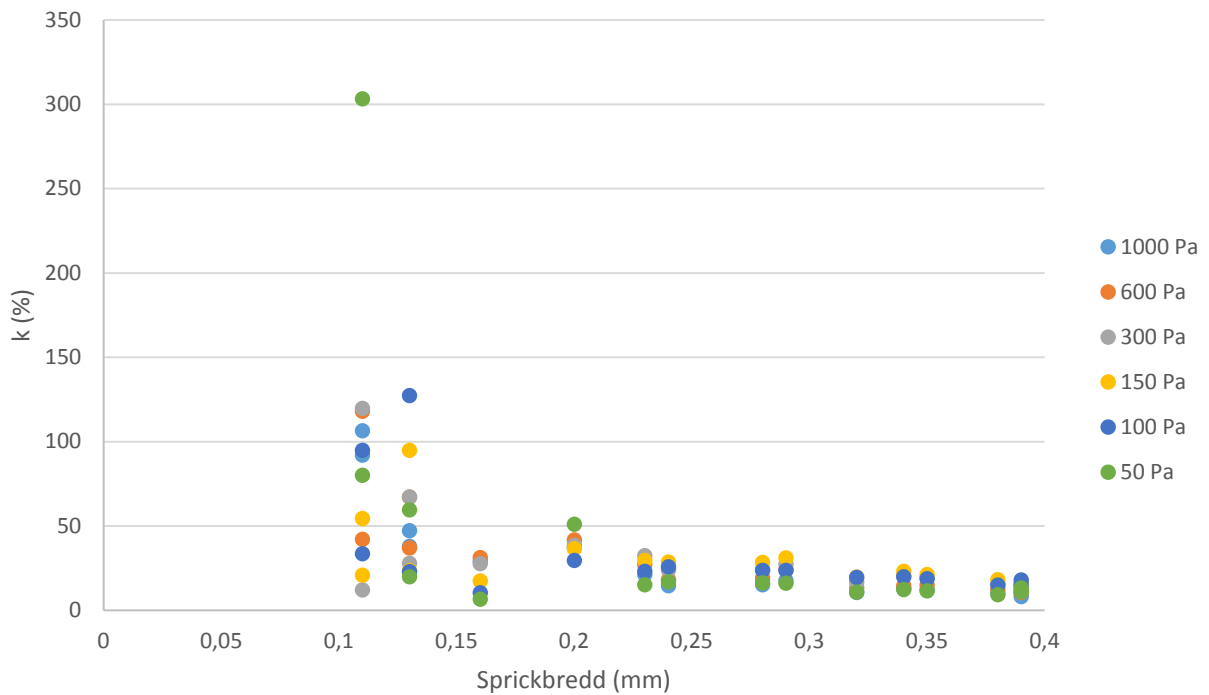
Då sprickvidden är större än 0.15 mm är förhållandet k tämligen konstant oavsett övertryck. I Figur 5.22 redovisas medelvärdet på förhållandet för alla mätvärden mellan sprickbredderna 0.16 och 0.39 mm för vattenfilmsflödena 500, 1000, 2000 och 3000 ml/min*m vid olika övertryck. Detta innebär att det finns en möjlighet att endast göra försök med hydrostatiskt tryck och ändå göra en prediktering gällande vatteninträning i sprickor i puts under mer verklighetstroga försök dvs. med givet vattenfilmsflöde och luftövertryck.



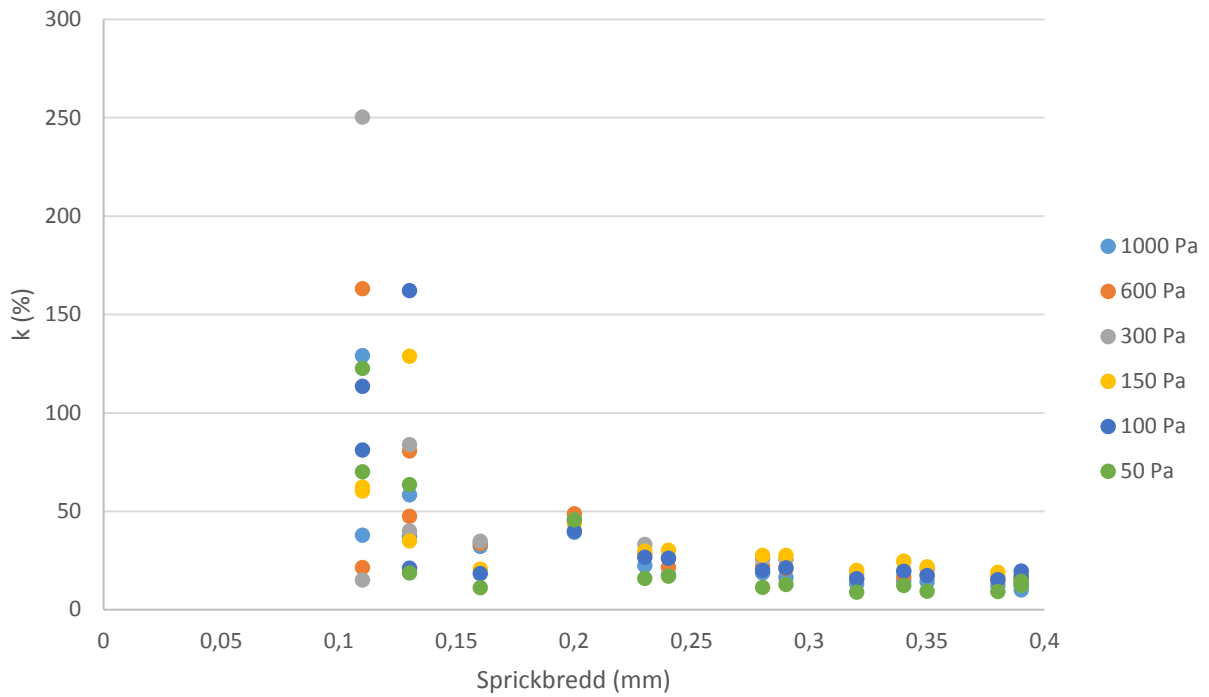
Figur 5.18. Procentuella förhållandet (k) mellan flödet genom sprickan vid dynamisk och statisk vattenbelastning vid ett vattenfilmsflöde mot sprickan på 500 ml/min*m.



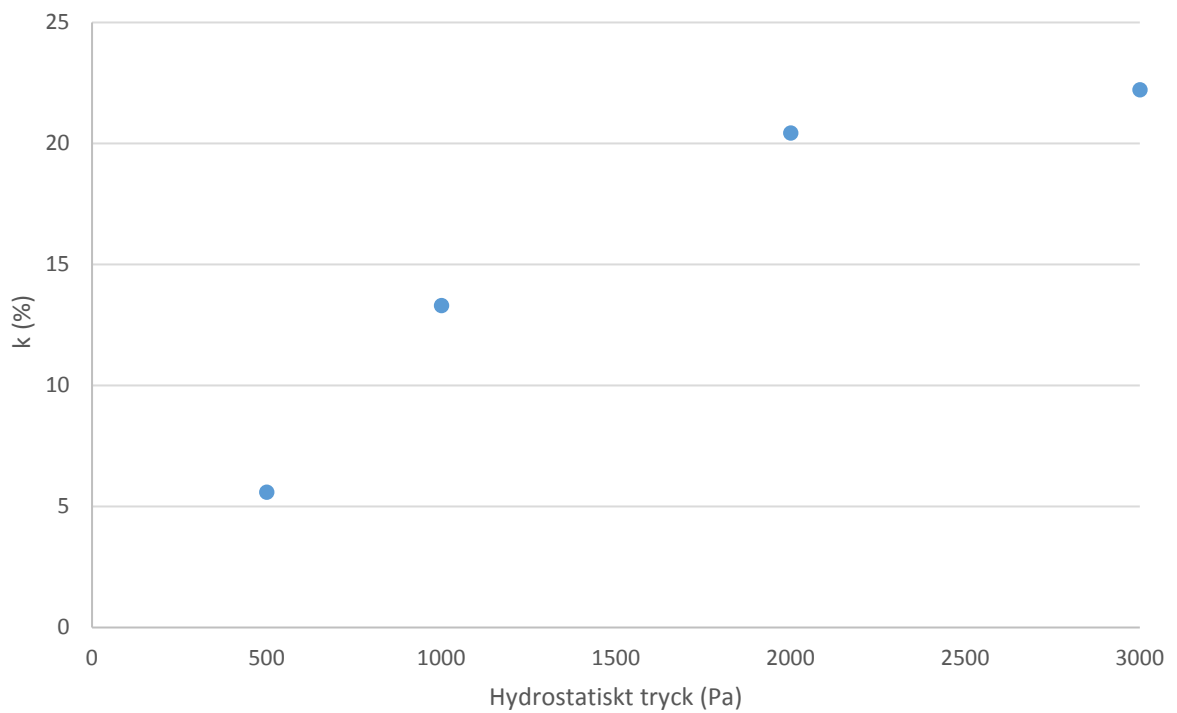
Figur 5.19. Procentuella förhållandet (k) mellan flödet genom sprickan vid dynamisk och statisk vattenbelastning vid ett vattenfilmsflöde mot sprickan på 1000 ml/min*m.



Figur 5.20. Procentuella förhållandet (k) mellan flödet genom sprickan vid dynamisk och statisk vattenbelastning vid ett vattenfilmsflöde mot sprickan på 2000 ml/min*m.



Figur 5.21. Procentuella förhållandet (k) mellan flödet genom sprickan vid dynamisk och statisk vattenbelastning vid ett vattenfilmsflöde mot sprickan på 3000 ml/min*m.



Figur 22. Medelvärdet på förhållandet k för sprickbredder större än 0.16 mm som funktion av det hydrostatiska trycket.

5.3 Slutsatser

Studiens viktigaste slutsatser är:

- Försöksutrustningen som utvecklades inom ramen för projektet öppnar möjligheter för att studera fasaddetaljers respons vid slagregnsliknande, dynamiska förhållanden;
- Resultaten som erhöles under studierna av vatteninträning genom en spricka i puts vid dynamisk vattenbelastning är rimliga och mestadels logiska i förhållande till uppställda hypoteser;
- I likhet med tidigare studier genomförda under hydrostatisk belastning, påverkas vattenflödena genom en putsspricka vid dynamisk belastning av sprickbredden och övertrycket i försökskammaren;
- Vattenflödena genom en putsspricka vid dynamisk belastning påverkas tydligt även av mängden tillgängligt vatten som tillförs i form av ett vattenfilmsflöde på putsens yta och som rinner mot sprickan;
- Ett samband har etablerats mellan vattenflöden vid dynamisk respektive hydrostatisk belastning. Detta möjliggör att prediktera vatteninträning genom sprickor under slagregnsliknande förhållanden genom provning under hydrostatiska förhållanden. Det senare förfarandet är ofta enklare och billigare än provning vid dynamiska förhållanden.

6 Sammanfattning och slutsatser

De presenterade studierna bidrar till en kvalitativ förståelse av hur sprickor och glipor i fasadsystem av typen puts på isolering av mineralull medverkar till vattenläckage mot de inre delarna av en yttervägg. Studierna bidrar även till att etablera kvantitativa samband mellan å ena sidan sprickbredden, mängden tillgängligt vatten och den pådrivande tryckskillnaden och å andra sidan vattenflödet. En försöksutrustning har utvecklats som möjliggör studier av fasaddetaljers respons vid slagregnsliknande förhållanden.

De viktigaste slutsatserna är:

- Vattenflödet genom en spricka definierad av puts beror, vid en given tjocklek på putsen, av sprickbredden och det hydrostatiska trycket. Vattenflödets beroende av sprickbredden kan beskrivas med hjälp av en potensfunktion. Vattenflödena ökar med ökande hydrostatiskt tryck;
- Vattenflödet genom en spricka definierad av puts och aluminium påverkas av sprickbredden och det hydrostatiska trycket på liknande sätt som genom en spricka definierad av puts;
- Vattenflödet genom gränsskiktet mellan puts och isolering påverkas marginellt av det hydrostatiska trycket då putsen är vattenmättad. När putsen är torr ökar vattenflödet med ökande hydrostatiskt tryck;
- Vattenflödet i både putsen och gränsskiktet mellan puts och isolerskivor minskar vid upprepade vattenbelastningar. Fenomenet förklaras med självläkningen i den cementbaserade putsen och delvis även med igensättningen av de vattenförande strukturerna i gränsskiktet mellan puts och isolering på grund av fibrer som lossnar från putsen och isoleringen;
- Vattenflödet genom en skarv mellan isolerskivor ökar med ökande bredd på glipen och med ökande hydrostatiskt tryck. Vattenflödet kan approximeras med hjälp av ett polynom av andra ordningen;
- Givet att bredden på gliporna mellan isoleringen är densamma som bredden på putssprickorna, är vattenflödena av samma storleksordning. Slutsatsen gäller för material och geometriska förhållanden i denna undersökning;
- I likhet med hydrostatisk belastning, påverkas vattenflödena genom en putsspricka vid dynamisk belastning av sprickbredden och övertrycket i försökskammaren. Vattenflödena påverkas även av mängden tillgängligt vatten som tillförs i form av ett vattenfilmsflöde på putsens yta;
- Ett samband har etablerats mellan vattenflöden vid dynamisk respektive hydrostatisk belastning. Detta möjliggör att prediktera vatteninträngning genom sprickor under slagregnsliknande förhållanden genom provning under hydrostatiska förhållanden. Det senare förfarandet är ofta enklare och billigare än provning vid dynamiska förhållanden.

7 Referenser

- [1] I. Samuelson, K. Mjörnell, A. Jansson - Moisture damage in rendered, undrained, well insulated stud walls. In Proceedings of the 8th symposium on building Physics in the Nordic Countries, editor Rode C, Copenhagen, June 16-18, 2008, vol. 3, 1253-1260.
- [2] I. Samuelson & A. Jansson – Putsade regelväggar. SP Rapport 2009:16, SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut, 2009.
- [3] M. Molnár, J. Jönsson, K. Sandin, C-M. Capener - Energieffektivisering av miljonprogrammets flerbostadshus genom beständiga tilläggsisoleringsystem. Rapport TVBK-3064, Lunds tekniska högskola, 2013.
- [4] N. J. D. Nisson - Severe Rotting Found in Homes with Exterior Insulation Systems. Energy Design Update, 15 (1995), 1-3.
- [5] J. B. Posey & J. A. Vlooswyk - EIFS: Canadian field performance. In Exterior Insulation Finish Systems, Materials, Properties and Performance, editors Nelson P.E. and Kroll, E., ASTM PCn 04-012690-10, (1996), 3-20.
- [6] L.E. Nevander & B. Elmarsson – Fukthandbok. Praktik och teori. Svensk Byggtjänst, 2006.
- [7] N. Van Den Bossche, M.A. Lacasse, A. Janssens – A uniform methodology to establish test parameters for watertightness testing: Part 1: A critical review. Building and Environment, 63 (2013) 145-156.
- [8] L. Olsson – Laboratoriestudie av inläckagemängder i sju olika otätheter i fasad exponerad för slagregn och vattenstänk. SP Rapport 2015:36, SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut, 2015.
- [9] T.E. Remmele - EIFS resistance to water penetration and evaluation in accordance with EIMA test method 1001.02, in Exterior Insulation Finish Systems, Materials, Properties and Performance, editors Nelson P.E. and Kroll, E., ASTM PCn 04-012690-10, (1996), 177-185.
- [10] M.A. Lacasse – Recent studies on the control of rain penetration in exterior wood-frame walls. BSI 2003 Proceedings, Oct. 2003, 15 Cities across Canada, pp. 1-6.
- [11] K. Wang, D.C. Jansen, S.P. Shah - Permeability study of cracked concrete. Cement and Concrete Research 27 (1997) 381-393.
- [12] C.M. Aldea, S.P. Shah, A. Karr - Permeability of cracked concrete. Materials and Structures, 32 (1999) 381–393.
- [13] V. Mechtcherine, Lieboldt - Permeation of water and gases through cracked textile reinforced concrete. Cement & Concrete Composites, 33 (2011) 725-734.
- [14] A. Akhavan, S-M-H. Shafaatian, F. Rajabipour - Quantifying the effects of crack width, tortuosity, and roughness on water permeability of cracked mortars. Cement and Concrete Research 42 (2012) 313-320.
- [15] S-S. Park, S-J. Kwon, S.H. Jung, S-W. Lee - Modeling of water permeability in early aged concrete with cracks based on micro pore structure. Construction and Building Materials 27 (2012) 597-604.
- [16] G. Fagerlund, M. Hassanzadeh – Självläkning av sprickor i betong. Bygg&teknik, 2/2012.