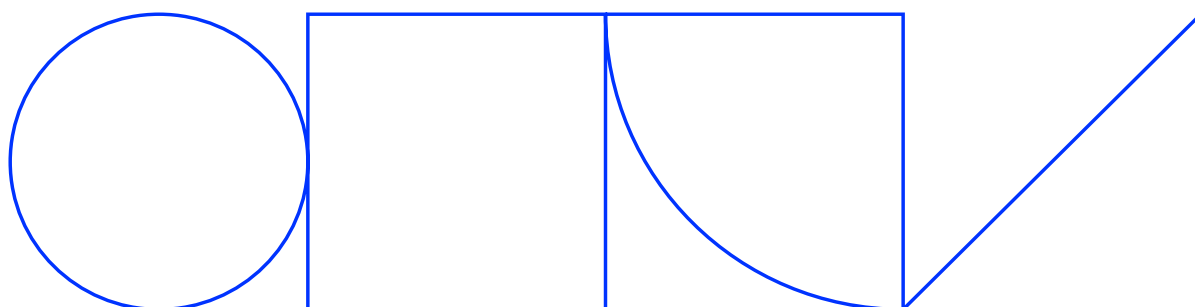


Regntäthet hos prefabricerade betongsandwichväggar-etapp 2

Fältmätningar av tryckskillnad över fasader

Lars Olsson, RISE
PEAB Sverige AB

2023-09-28



Förord

Projektet har finansierats av SBUF (huvudfinansiär) och medverkande företag. PEAB sökte projektet och RISE, Lars Olsson har varit projektledare och författare. Johnny Kronvall har författat avsnittet om Internationell litteraturinventering via fib – The International Federation for Structural Concrete. Detta projekt är en fortsättning av SBUF 13818. I SBUF projekt 13818 framkom bland annat att det dels saknades data och uppgifter på faktiska tryckskillnader och huruvida fasader har en tryckutjämnning eller inte i prefabricerade betongsandwichväggar, dels saknas litteraturstudie som omfattar utvecklingstrender och eventuella designfilosofier både nationellt och internationellt.

Tack till fastighetsägare och förvaltare för tillåtelse till att mäta i ytterväggar.

Tack till Owe Svensson för mätning av tryckskillnader och Eva Sikander, båda RISE, för synpunkter på rapporten.

Tack till projekt- och referensgrupp för stort engagemang och värdefulla synpunkter.

Projektgrupp:

Henrik Carlsson	WSP
Mattias Gunnarsson	PEAB
Johnny Kronvall	Strusoft
Anders Lindgren och Andreas Simfors	UBAB
Jan Lövgren	K-system
Johan Olofsson	Fog och brandskyddsföretagen
Roger Persson	NCC
Björn Rapp	Riksbyggen
Charlotte Svensson Tengberg	Skanska
Göran Östergaard	Abetong

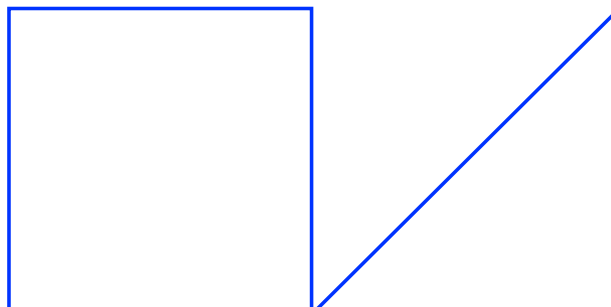
Referensgrupp:

Per Hilmersson	Akademiska Hus
Carl-Eric Hagentoft	Chalmers
Kristina Mjörnell	RISE

Tack till FoU-Väst för synpunkter på projektupplägg och för att ha följt arbetet:

Johan Alte	RO-Gruppen
Joakim Dahlgren Persson	Hyrmaskiner
Andreas Furenberg	Peab
Niklas Gustafsson	Besab
Tobias Hagrenius	Brixly
Mats Karlsson	Thomas Concrete
Anders Ljungberg	NCC
Charlotte Svensson Tengberg	Skanska
Joel Öman	Veidekke
Christine Olofsson	Byggföretagen

Lars Olsson
Kalmar, september 2023



Sammanfattning

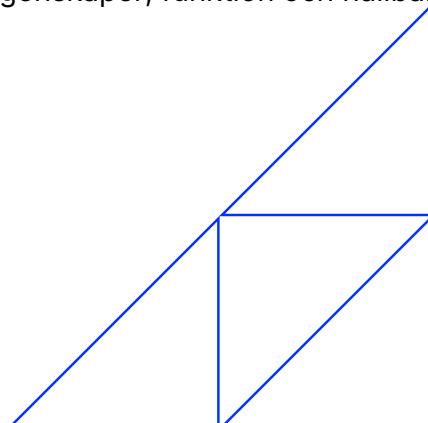
I en tidigare genomförd SBUF studie (ID:13651) pekades det på att problem förekommer med vatteninträngning i ytterväggar bestående av betongsandwichelement. Historiskt sett har det förekommit vatteninträngning och även idag uppmärksammas problem med vatteninträngning i nya ytterväggar i varierande utsträckning, med prefabricerade betongsandwichelement. Det finns ingen entydig bild över omfattningen men däremot att det finns problem. Denna studie är en fortsättning av SBUF 13818. SBUF projekt 13818 visade på flera väsentliga avvikelser vid besiktningar och vid laboratorieförsök av fasader med betongsandwichväggar. Det finns ett behov i branschen av att klargöra utformningen av pålitliga lösningar och tätningar. Därför har nu nästa delsteg varit att studera tryckskillnad över verkliga fasader för att få klarhet i om verkliga fasader har en tryckutjämnande funktion och samtidigt få en avstämning om tidigare labbförsök var realistiska. Dessutom dra nytta av den kunskap som finns genom en litteraturinventering.

Generellt sett visade utförda fältmätningar exempelvis på betydande tryckskillnader över fasad, 30-40 Pa undertryck i vägg mot ute, även vid relativt låga vindhastigheter på 5-8 m/s. Uppmätta fasader/väggar, var fogade med fogmassa och bottningslist samt TDV-rör/öppningar i fogkryss. Fasaderna kan därför inte anses ha en tryckutjämnande funktion (jämnställning av tryck). Fasader med aktuella TDV-öppningar har förmodligen otillräckligt med öppningar.

Detta överensstämmer med de tidigare labbförsöken. Observera att i dessa fältmätningar så har enbart lufttrycksdifferensen över fasad och vägg samt vindhastighet och vindriktning mätts. Fasadernas regntäthet med mera har inte omfattats av dessa fältmätningar.

I den internationella litteraturen förespråkas tvåstegstätning med dränering vilket inte förefaller vara så vanligt i Sverige idag. Eventuellt kan tvåstegstätade lösningar med dränering ha blivit misskrediterade i Sverige på grund av olika fel eller brister i utförande. Genomgående framhålls i den nationella och internationella litteraturen att tvåstegstätning ska vara en mer pålitlig och tätare metod än enstegstätning, om tätningar utförs korrekt.

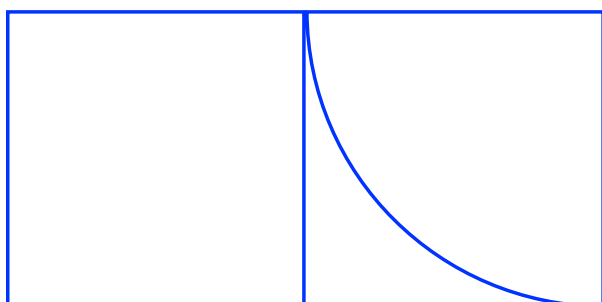
Inför fortsatt forskning kan konstateras att det finns ett behov av en guide med goda tätningsprinciper för dagens olika konstruktioner, lösningar och material med dokumenterade egenskaper, funktion och hållbarhet.



Innehåll

1	Bakgrund	5
2	Syfte och målsättning	6
3	State of the art	6
3.1	Litteraturinventering via FIB – The International Federation for Structural Concrete	6
3.1.1	Publikationer från fib	6
3.1.2	Tematisk genomgång	7
3.1.3	Tvåstegstätningar	9
3.1.4	Reflektioner	12
3.2	Nationell och internationell litteraturöversikt	12
3.2.1	Diskussion	15
3.3	Slutkommentarer	16
4	Teori	17
4.1	Betongsandwichelement	17
4.2	Vindtryck	17
4.3	Designstrategier för regn- och lufttätet	18
4.4	Tryckutjämning av fasad	19
5	Metod	20
6	Beskrivning av mätobjekt/byggnader	20
6.1	Objekt 1A-C	20
6.2	Objekt 2	23
6.3	Objekt 3	25
7	Resultat	29
7.1	Objekt 1A	29
7.2	Objekt 1B	29
7.3	Objekt 1C	29
7.4	Objekt 2	29
7.5	Objekt 3	30
8	Diskussion	32
9	Slutsats	33
10	Förslag på fortsatt forskning	33
	Litteraturförteckning	35
	Bilaga 1, byggnad 1A (Borås)	37

Mättillfälle 10 maj 2023	37
Bilaga 2, byggnad 1B (Borås)	43
Mättillfälle 3 november 2022	43
Mätintervall 0,1 sekund	44
Mätintervall 1 sekund	46
Bilaga 3, byggnad 1C (Borås)	48
Mättillfälle 3 november 2022	48
Mätintervall 0,1 sekund	49
Bilaga 4, byggnad 2 (Kungälv)	51
Mättillfälle 29 november 2022	51
Mättillfälle 11 januari 2023	58
Bilaga 5, byggnad 3 (Göteborg)	62
Mättillfälle 9 maj 2023	62



1 Bakgrund

I en tidigare genomförd SBUF studie (ID:13651) pekades det på att problem förekommer med vatteninträning i ytterväggar bestående av betongsandwichelement (Brycke & Svensson Tengberg, 2019). Historiskt sett har det förekommit vatteninträning (Jerling & Schechinger, 1983, Hasselblad & Andersson, 1972). Det finns ingen entydig bild över omfattningen men däremot att det finns problem idag. Inläckageområden som översiktligt pekas ut är skarvar och fogar i betongelement, fönster och balkonganslutningar och bjälklagsanslutningar. Dock finns det oklarheter vad gäller den exakta orsaken. Exempel på artiklar med liknande ämne har publicerats internationellt (Lacasse et al., 2009, Kudder & Erdly, 1998). Det verkar vara vanligt med enstegstättade lösningar av prefabricerade betongsandwichväggar vilket generellt sett är erkänt problematiskt.

De svårigheter som påpekas med att skapa regntäta betongsandwichväggar visar på liknande svårigheter som framkom i ett forskningsprojekt för några år sedan, SBUF studie ID:12847, (Olsson, 2018b) som visade att det är mer regel än undantag att väl utförda fasader (enstegstättade putsfasader och ventilerade fasader av skivor eller träpanel samt enstegstättad tunn betongfasad), läcker in vatten vid slagregn framförallt vid genomföringar och anslutningar såsom, fönster, balkong, el- och ventilationsrör etc (Olsson, 2018a). Det visade sig vara praktiskt svårt eller omöjligt att skapa helt täta tätningslösningar vid det yttersta skiktet i väggen som fasadbeklädnaden. Ofta är otätheterna inte synliga för blotta ögat varför de är svåra att förhindra. Det innebär att utformning av ytterväggskonstruktionen bakom dessa fasadbeklädnader behöver vara anpassad till förväntade punktinläckage genom fasadskiktet även vid anslutningar, skarvar och genomföringar.

I en föregående SBUF studie (ID:13818) "Regntäthet hos prefabricerade betongsandwichväggar med vanligt förekommande fasaddetaljer" (Olsson, 2021), framkom flera väsentliga avvikelser vid besiktningar och vid laborieförsök av fasader. Exempelvis påträffades för smala fogbredder i samtliga byggnader, som förmodligen förklarar de många fall av vidhäftningssläpp i fogmassa i fogar, felaktigt placerade eller monterade TDV-rör, betongsprickor i långa fasadelement vid försvagning av fönster- och dörröppningar och balkonger. I laborieförsök uppkom regninläckage i flera fönsteranslutningar förmodligen på grund av exempelvis icke verifierade lösningar och olämpliga materialkombinationer, regninläckage genom TDV- och TUDV-rör vid förhållandevis låga tryckskillnader över fasadskiktet. En relativt ny tätningsmetod av expanderande fogband har börjat användas mellan betongelement varför det också testades. Tätning med expanderande fogband visade sig ha svårt att hålla tätt mot slagregn samt att fogbandet vattenmättades både i fasadfogar men även runt fönster. Betydande inläckagemängder uppmättes i försöksväggarna framförallt vid tryckskillnad men hur representativ resultaten var förelåg det en viss oklarhet kring eftersom det saknades uppgifter om dokumenterade tryckskillnader och tryckutjämning av befintliga betongsandwichväggar. Utifrån försöken uppvisade de i princip ingen tryckutjämnande funktion. Resultaten pekade på många olika problemområden samtidigt som det berör flera parter i branschen vilket kanske gjort det svårt att felsöka och åtgärda. Förmodligen krävs det mer och ingående kunskap om betongsandwichlösningars funktion,

tätninglösningar och en helhetsbild för att lösa problemen. Därför har nu nästa steg varit att studera tryckskillnad över verkliga fasader och leta mer kunskap även internationellt genom en mer omfattande litteraturundersökning.

Så länge det saknas data på regntäthet och uppgifter om funktion hos konstruktioners tätninglösningar etc innebär det stora risker i form av bland annat fuktrelaterade skador, inomhusmiljöproblem och att inte kraven på energieffektivisering uppnås (Bednar & Hagentoft, 2015). Detta är en risk som behöver hanteras.

2 Syfte och målsättning

Syftet är att undersöka om fasader i fält är tryckutjämnade eller vilka tryckskillnader som kan förväntas. Dessutom är syftet att visa kunskapsläget genom att göra en nationell och internationell litteraturinventering och -undersökning och dra nytta av om det eventuellt finns väl fungerande lösningar.

3 State of the art

En litteraturöversikt, nationell och internationell, har gjorts genom sökning i databaser som DIVA portal, Google Scholar, Scopus och Science Direct med anpassning för denna studie. En internationell litteraturinventering har gjorts via kontakter med FIB, The International Federation for Structural Concrete (fib-international.org) och medlemmar med inriktning tätningar.

3.1 Litteraturinventering via FIB – The International Federation for Structural Concrete

FIB är en internationell organisation som syftar till rationellt byggande i betong. Arbetet bedrivs i olika kommissioner, varav *Commission 6 Prefabrication* är en, med syfte att utveckla prefabricerat byggande i betong genom att stödja forskning och utveckling på ett internationellt plan och att överföra kunskap till design och produktion i praktiken.

3.1.1 Publikationer från fib

Efter prioriteringar som definieras av *fib*:s tekniska råd och presidium publiceras resultat från *fib*:s olika kommissioner och *task groups* i tekniska publikationer som kallas bulletiner. Sedan 1999 har *fib* publicerat drygt 100 bulletiner, varav huvuddelen får sägas behandla material och konstruktionsteknik. Bulletiner som rör byggnadsfysikaliska aspekter på prefabricerat byggande, och speciellt fuktsäkerhetsfrågor, är mindre frekventa. Dessa frågor behandlas dock, tillsammans med annat innehåll i ett fåtal bulletiner.

Följande bulletiner med innehåll relevant för vårt projekts frågeställningar har identifierats (*fib*, 2014, *fib*, 2017, *fib*, 2021):

- **No. 74.** Planning and design handbook on precast building structures. Manual/Textbook (313 pages, ISBN 978-2-88394-114-4, September 2014)

- **No. 84.** Precast Insulated Sandwich Panels. State of the art report (129 pages, ISBN 978-2-88394-124-3, December 2017)
- **No. 101.** Precast Concrete in Tall Buildings. State-of-the-art report (234 pages, ISBN 978-2-88394-154-0, December 2021)

Bulletin 74 har formen av en handbok som behandlar breda aspekter av prefabricerat byggande. I avsnittet 9.11 *Weathering joints* behandlas principerna för en- resp. tvåstegstätning med relativt utförlig beskrivning av detaljutförande för lösningar med erfarenhetsmässigt gott beteende i praktiken. I ett annat avsnitt redogörs för så kallade *twin-skin façade systems* med åtskilda inner- och ytterpaneler. Det ges också en tabell med rekommenderade minimala fogmassevidder och -djup beroende på olika elementstorlekar.

Bulletin 84 behandlar prefabricerade värmeisolerade sandwichpaneler. Bulletinen har ett avsnitt 7.7 med titeln *Joint Sealing (Caulking)* med underavsnitt om *Joint preparation, Sealant installation* och *Two-stage joints*. Avsnitten om fogmassor är relativt detaljrika med praktiska rekommendationer. I avsnittet om tvåstegsfogar förs ett kortfattat resonemang om behovet av ventilations- och dräneringsrör/boxar.

Bulletin 101 är framtagen i samarbete med PCI, Precast/Prestressed Concrete Institute i USA. Och behandlar olika aspekter på prefabkonstruktioner i höga byggnader. Bulletinen har ett avsnitt 9.5.5 benämnt *Water leakage control*, där det mest iögonfallande innehållet är presentationen av ett designkoncept kallat *the perfect barrier drained joint system*, vars principer är lätta att förstå, men vars utförande praktiskt förefaller komplicerat – och därmed med osäker praktisk funktion.

Enligt uppgift från Mr. George Jones, sammankallande i arbetsgruppen för Bulletin 101, stödjer sig avsnittet om fuktskydd i bulletinen till stor del på (PCI, 2007):

PCI Architectural Precast Concrete Committee (2007), *Architectural Precast Concrete, 3rd Edition (MNL-122-07)*. Precast/Prestressed Institute (PCI), Chicago, Illinois. (Kan laddas ner utan kostnad).

<https://www.pci.org/ItemDetail?iProductCode=MNL-122-07>

Avsnitt 4.7 Joints är av huvudsakligt intresse.

samt

PCI Architectural Precast Concrete Committee (2021), *PCI Design Handbook, 8th Edition (MNL-120-17)*, Precast/Prestressed Institute (PCI), Chicago, Illinois. (500 USD) Anskaffning av denna skrift inför en eventuell fortsättning på vårt projekt bör övervägas.

3.1.2 Tematisk genomgång

3.1.2.1 Enstegstätningar

Enstegstätningar utförs i regel som fogmassefogar.

Bulletin 74:

”Fogmassefogar: i denna typ av fogar förhindras inträngning av både luft och vatten av en enda tätning nära fasadelementets ytteryta. Den vanligaste och generellt sett mest effektiva metoden är att använda pistolapplicerade polysulfid- eller silikontfogmassor.

Fogbredden ska ta hänsyn till den maximala och minsta bredd som kan uppstå i praktiken (toleranser och rörelse.)

När fogmassan har härdat eller stelnat uppstår en kontinuerlig barriär exakt anpassad till fogens form och med vidhäftning till kanterna.

Det rekommenderas att sätta tätningen något tillbaka i fogen för att få bättre skydd mot vind, regn och ultraviolettt ljus. Effektiviteten hos dessa fogar beror på kontinuiteten i vidhäftningen till betongen och fogmassans elasticitet.

Eftersom fogarna är direkt utsatta för väder och vind kommer fogmassan att förändras med åren och visst underhåll och/eller reparation måste förutses. Men eftersom tätningen är nära fasadelementets ytteryta kan inspektion och underhåll enkelt utföras”.

En fogmassefog visas i figur 1.

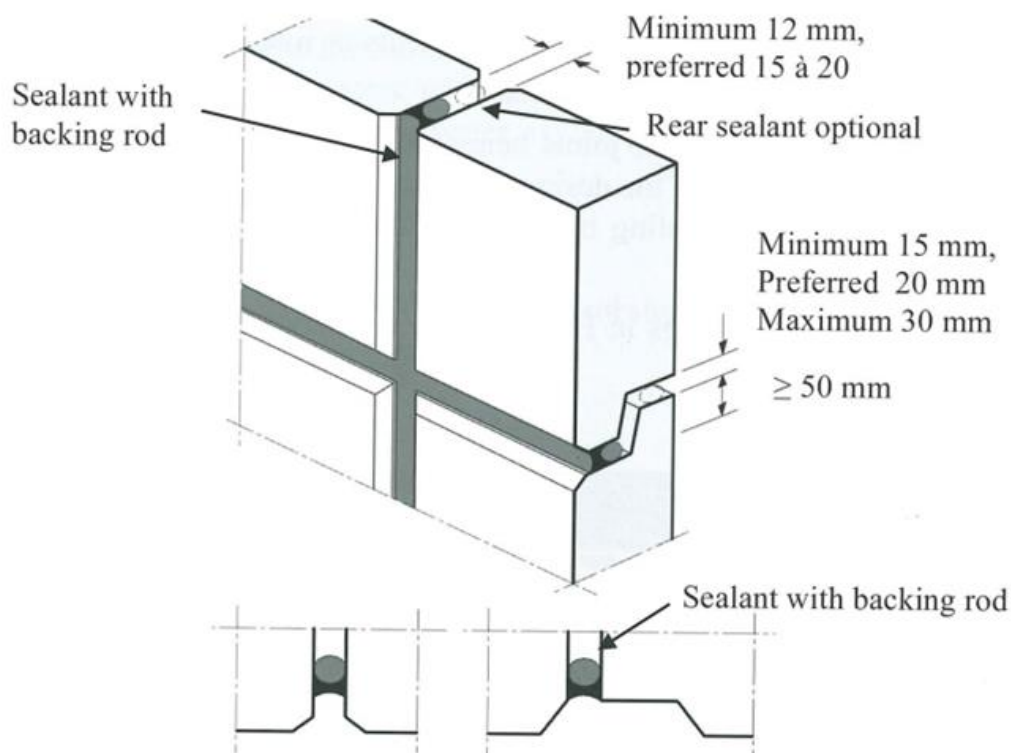


Fig. 9.29: Examples of face-sealed joint

Figur 1. Fogmassefog

Reproduced from fib Bulletin 74, Chapter 9 « Architectural concrete facade », page 250 - "Fig 9.29: Examples of face-sealed joint " with permission from the International Federation for Structural Concrete (fib).

I Bulletin 74 ges också en indikation om minimala fogmassevidder och -djup beroende på olika elementstorlekar. Återges här som tabell 1.

Table 9.4: Recommended joint width and depth for face-sealed joints

Component width (m)	Minimum nominal joint width (mm)	Minimum joint depth (mm)
1.80	12	8
2.40	12	8
3.60	14	8
4.80	15	10
6.00	16	10

Tabell 1. Rekommenderade fogmassemått

Reproduced from fib Bulletin 74, Chapter 9 « Architectural concrete facade », page 252 - "Table 9.4: Recommended joint width and depth for face-sealed joints" with permission from the International Federation for Structural Concrete (fib).

3.1.3 Tvåstegstätningar

Tvåstegstätningen bygger på att regntätningen och lufttätningen hos väggen hanteras var för sig.

Det yttre, regntätande skiktet som ska ta hand om slagregn på fasaden förläggs längst ut i densamma medan lufttätningen ska ske i en väl klimatskyddad miljö nära fogens insida.

Bulletin 74:

"En yttre "barriär" förhindrar en storskalig genomträngning av regnvatten så att bara begränsade mängder av vatten kan ta sig in i utrymmet mellan regnskyddet och lufttätningen på elementets insida. Den yttre regnbarriären förhindrar den dynamiska vindkraften från att regnvatten når lufttätningen. Denna spelar en avgörande roll för systemets funktion och brister i lufttätningen kan leda till att regnvatten kan ta sig genom hela väggen.

Pistolapplicerade tätningsmedel erbjuder säkrast lufttätning."

En typisk tvåstegstätning visas i figur 2.

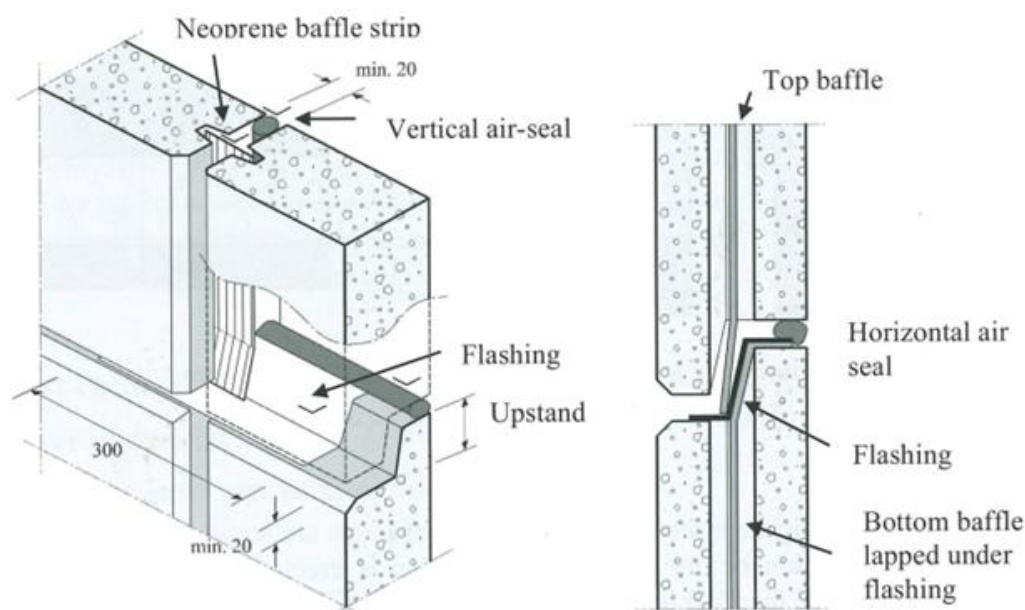


Fig. 9.30: Open drained joint

Figur 2. Tvåstegstätning

Reproduced from fib Bulletin 74, Chapter 9 « Architectural concrete facade », page 251-“Fig 9.30: Open drained joint” with permission from the International Federation for Structural Concrete (fib).

Bulletin 74:

“Den yttre barriären i den vertikala fogen innehåller en expansionskammare för att minska vindtryckbelastningen och en baffel, med uppgift att leda regnvattnet nedåt. Den horisontella fogen har ett överlapp som utgör den primära regnbarriären. Höjden på den uppskjutande delen, som utgör överlappet, bör vara 50 till 70 mm för att förhindra vattengenomträngning på grund av vindtryck. Ett vattenutledande plåtbleck placeras över den vertikala fogen på ställen där en vertikal fog möter en horisontell. Lufttätningen placeras på fogens insida.

I tvåstegstätningssystem måste de olika tätningssystemen genomföras under byggproduktionsfasen och de är inte alltid lätta att genomföra. Mötespunkterna mellan vertikala och horisontella fogar är problematiska produktionsmässigt och de utgör svaga punkter kvalitetsmässigt.

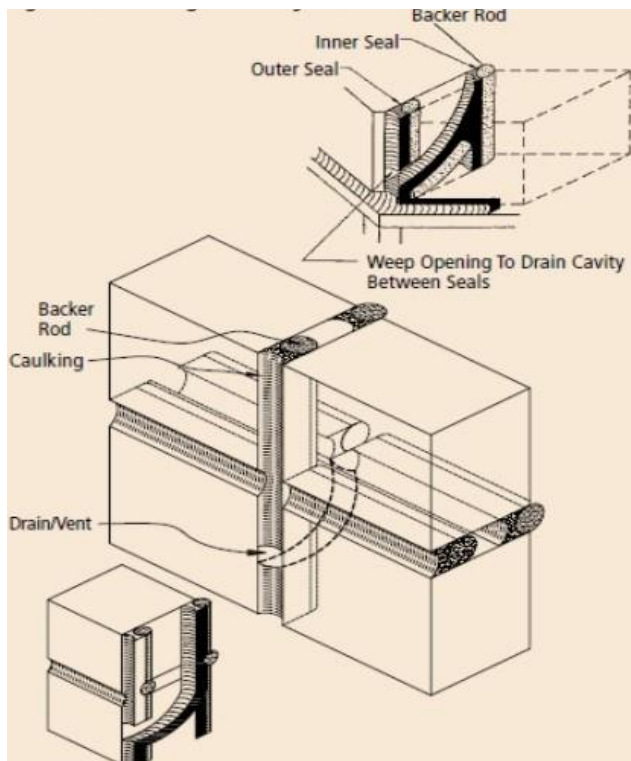
Att inspektera alla detaljer i tvåstegstätade fogar är ganska besvärligt, speciellt i de ovan nämnda mötespunkterna mellan horisontell och vertikal fog. Att reparera läckande fogar är inte heller lätt. Det vattenutledande plåtblecket är i allmänhet oåtkomligt och sålunda omöjligt att reparera eller ersätta. Detsamma gäller bafflarna. Att reparera dessa delar av fogen som inte är åtkomliga utifrån kan i stort sett bara göras med fogmassa eller självhäftande tätningssremor.

Numera används mest enstegstätningar med fogmassa. I princip är dessa fogar mera utsatta och känsliga för åldrande än tvåstegstätningar, eftersom tätningen är mera utsatt för vind, regn och ultraviolett ljus.

Ibland kombineras de båda tätningssystemen. De horisontella fogarna utformas då med ett kontinuerligt överlapp i bakkanten och en lufttätning. Fogarna kan lämnas

öppna eller fogade med fogmassa. De vertikala fogarna är då alltid fogmassefogade. Dessa fogar kräver med tiden underhåll”.

En (nordamerikansk) variant på tvåstegstättningen, visas i figur 3, som måhända är mer teoretiskt intressant än möjlig att utföra i praktiken är känd under namnet ”the perfect barrier drained joint system”.



Figur 3. Tvåstegstättning med dränering, ”The perfect barrier drained joint system”.
Reproduced from fib Bulletin 101, Chapter 9 « Facades and Chaddings », page 156 -
“ Fig 9-17: Example of two stage joint system” with permission from the International
Federation for Structural Concrete (fib).

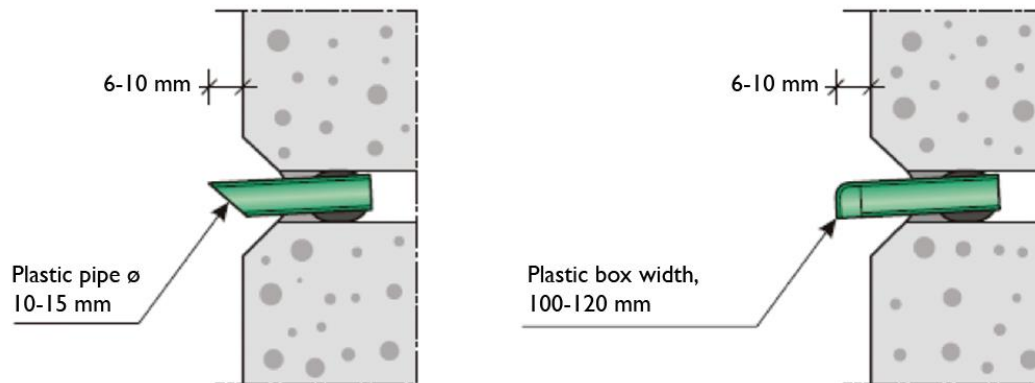
Oberoende av tätningsteknik, men vid användning av fogmassa i ytterdelen av väggen, används vad som på svenska kallas TDV-öppningar för **T**ryckutjämning , **D**ränering och **V**entilation. I de studerade bulletinerna från *fib* finns sådana öppningar bara nämnda mer eller mindre i förbigående. Sålunda:

Bulletin 84:

”När en tvåstegstättning används, korrekt detaljutformad och installerad, är ventilation och dränering nödvändig. Alla horisontella fogar skall ha ventilationsrör. Dessa placeras generellt i skärningspunkten mellan horisontella och vertikala fogar. Ventilation av fogarna förhindrar vatten (antingen inträngt regnvatten eller kondensation) från att ansamlas i väggen om både in- och utsida är täta.

Ventilationsrör ska ha en innerdiameter på 8-12 mm och vara av PVC eller annat material som inte med tiden missfärgas. Ventilationsröret ska ha lutning mot väggens utsida och måste penetrera fogmassefogen och bottningslisten så att luft kan röra sig

utan hinder mellan väggens utsida och det inre av väggen. Minst två ventilationsrör per väggelement eller med 1,8 – 3,0 meters mellanrum rekommenderas”. Exempel på lösningar visas i figur 4.



Figur 4. Ventilationsrör i fogmassedefogar

Reproduced from fib Bulletin 84, Chapter 7 « Inspection and Repair », page 108 - “ Fig 7-10: Typical elastic panel joint with ventilation pipes or boxes ” with permission from the International Federation for Structural Concrete (fib).

3.1.4 Reflektioner

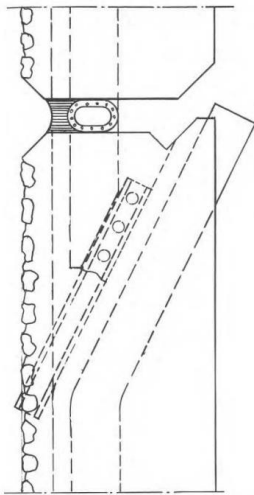
Regntätet förefaller inte vara en egenskap hos prefabricerade betongsandwichväggar som tilldrar sig överdrivet stort intresse inom *fib*, the International Federation for Structural Concrete. Snarare är produktions- och hållfasthetsfrågor i centrum, vilket till exempel visar sig om man studerar titlarna hos de bulletiner, rapporter med mera som publicerats av *fib*.

Veterligt finns det inte någon annan branschorganisation där man kan finna en verksamhetsprofil som skulle kunna innebära ett mera djupt intresse för fuktskydd för prefab-produkter. För att skaffa sig kunskap om internationella förhållanden inom området verkar det alltså vara så att man måste lita sig mot kunskapsframtagning och publicering från universitet, högskolor, forskningsinstitut och industriföretag med internationell verksamhet. Litteratur av detta slag redovisas i den litteraturstudie som också är en del av detta projekt.

3.2 Nationell och internationell litteraturöversikt

Sedan 1950-talet har det byggts många ytterväggar med betongelement (Hasselblad & Andersson, 1972). I rapporten framkommer att tätningar hade utförts med olika typer av fogmassa och i många fall hade det misslyckats och mynnade ut i skador och reparationer som följd. Därför fanns det motiv till att låta göra en undersökning. Ett hundratal byggnader undersöktes, en större andel hade tillverkats av en leverantör, och det framkom olika brister, dels kopplat till typ av fogmassa dels utförandet, som hade stor betydelse och det förekom också att det var vanligt med för smal fogbredd. I rapporten angavs det att stenullsisolering kan ha minskat risken för inläckage in i lägenheter eftersom vatten kunnat ansamlas i materialet i förhållande till cellplast med hänvisning till försök. Generellt sett påträffades störst problem i de mest slagregnsutsatta väderstrecken. Det påtalades också problem med inläckage vid fönsteranslutning i

fogtätning. Risken för sådana problem uppgavs kunna neutraliseras med dränering eller absorption. I rapporten framgår förslag på att TDV rör bör användas i karmhörn. Sammanfattningsvis angavs det många olika brister men någon statistisk eller entydig orsak till problem framkom inte. I rapporten redovisas ett schema på principiella lösningar för att förhindra inläckage genom bland annat skydda fogar, skapa öppningar och kanaler med tillräcklig tryckutjämning, dränering och ventilation, se figur 5.



Figur 5. "Exempel på utförande av kanal i horisontalfog och TDV-öppning i vertikalfog. Det vatten som läcker in i vertikalfogen ledes nedåt och genom det perforerade röret (TDV-röret). Det vatten som kommer in i horisontalfogen ledes i kanalen till vertikalfogen och dräneras ut på samma sätt." (Hasselblad & Andersson, 1972)

Generella kommentarer om vind- och regnförhållanden i Sverige och Norge diskuteras, i kombination med resultat från fältmätningar, i en äldre studie från Norge (Isaksen, 1966). Designprinciper av både betongelementfogar och fönstertätningar redovisas och vissa lösningar eller principer slagregnstestades också.

Omfattande kunskap och ytterligare erfarenheter baserade på faktiska försök/provning och skadeutredningar av fasader finns beskrivna av (Jerling & Schechinger, 1983). Det kan konstateras att redan för 40 år sedan dömdes enstegstätade lösningar ut, framför tvåstegstätade lösningar med dränering, samt svårigheter att få det beständigt tätt i horisontella fogsidor i horisontalfogar. Dessutom ges det exempel på att uppenbara fel eller brister i utförande av tvåstegstätade fogar med dränering gjorde att tvåstegstättningen misskrediterades men även den enstegstätade fogningen. Rekommendationer om utformning av tvåstegstättningen framgår av rapporten. Huruvida rekommendationen har utprovats i en fullständig fasad framgår dock inte.

I den tredje utgåvan av design manualen, Architectural Precast Concrete, beskrivs att design och utförande av fogtätningar är av yttersta betydelse och måste utföras på ett rationellt och ekonomiskt sätt (PCI, 2007). För att uppnå önskad tätning krävs val av rätt produkt, lämplig fogdesign, korrekt ytbehandling och appliceringsteknik och klimat. Inläckage kan förväntas om det finns otätheter där vatten kan tränga in. Tätningen måste vara avsedd för tuffa förhållande såsom rörelser, UV-ljus, fukt och aggressiva

ämnen i luft och betong. Design av tätningar bör redovisas i tredimensionella ritningar annars är det lätt att misslyckas eftersom utförandet sker tredimensionellt. Skärningspunkter mellan vertikala och horisontella tätningar är en vanlig källa till tätningsproblem. Enstegstätning är normalt sett mest ekonomiskt med hänsyn till initial kostnad. Men den ekonomin kan förändras när underhållskostnaderna uppstår och ingår i utvärderingen. Enstegstätningar är ofta väldigt utsatta för UV-ljus och olika brister i underlaget varför de bör skyddas genom försänkta skarvar. Tätheten förbättras med tvåstegstätning. Tvåstegstätningen behöver ett minimum av 50-63 mm för att kunna appliceras i elementskarven, se figur 3. Den inre tätningen är helt skyddad mot väder och UV-exponering. Tvåstegstätningen behöver luftspalt och dräneringshål (10 mm). Om dräneringen inte fungerar kan exempelvis vatten ansamlas och orsaka ökad åldring och försämrade egenskaper hos fogmaterial. Om den bakre tätningen är lufttät och öppningarna tillräckliga för tryckutjämning ska tryckutjämning erhållas och drivkraften för inläckage via slagregn kan elimineras. Design av elementfogar och fogbredder bör tillåta en noggrann applikation av de båda tätningarna för att kunna uppnå gott resultat, applicerat från utsidan. De specialverktyg som krävs kan innefatta en förlängning av munstycket på fogsprutan och ett längre verktyg för bearbetning av den invändiga tätningsmassan. Arkitekten, konstruktören och fogentreprenören måste alla förstå funktionen av tvåstegstätningen för att optimalt resultat ska uppnås. Fogarnas dimensioner måste alltid bibehållas. Det vanligaste misstaget vid installation av tvåstegsfogar är att lämna luckor i den inre tätningen som också är en lufttätning i fasaden. Egenskaper hos tätningsprodukter måste vara kända och beaktas.

Rekommendation om lutande/avledande plan under fönsterkarm samt tillämpning av sekundär tätning under fönster och TDV-öppning vid fönster nämns för att förhindra inläckage (PCI, 2007).

Enstegstätning med fogmassa och bottningslist är inte en robust lösning eftersom den endast går att inspekteras från utsidan samtidigt som det inte finns ett ytterligare skydd såsom dränering av fog (Orlowski et al., 2018). Att utföra en korrekt applikation av fogmassa och bottningslist samt rengöring och primerbehandling med fogbredder som varierar och i svåra arbetsställningar och återkommande dåligt väder, förefaller många gånger vara svårt. Många olika patenterade lösningar listas för olika användningsområden och krav, men även designprinciper och utvecklingsmöjligheter diskuteras för olika typer av fogning.

För att säkerställa regntäthet hos prefabricerade betongelement fasader bör dränerad tvåstegstätning tillämpas vid alla elementskarvar och genomföringar, se figur 5. Sammanfattningsvis framhålls att det både är teoretiskt rätt tänkt och backas upp av många års praktisk erfarenhet (Straube, 2013).

Det är vanligt med tvåstegstätning av fogar, båda tätningar har bottningslist, och de är placerade i fasadskivan med en luftspalt i mellan. Tätningslösningen både rekommenderas och accepteras av branschen (Farrington et al., 2019). Det är känt att tätningar har begränsad livslängd och kräver underhåll samt brister riskerar orsaka vatteninläckage. Ett nytt tätningsmaterial eller tillämpning, expanderande fogband/svällband (av ett fabrikat och med öppna celler i fogbandet), tilldrog intresse hos PCI Precast/Prestressed Concrete Institute, varför de lät testa materialet och samtidigt jämföra med den vedertagna tvåstegstätningen med fogmassa och bottningslist. De slagregntestade

tre varianter av lösningar med expanderande fogband, dels fyllde de en mindre del respektive hela fogdjupet, dels fyllde de nästan hela djupet med expanderande fogband men ytterdelen kompletteras med silikonfogmassa (enligt den aktuella tillverkaren ska de vara kompatibla med varandra). Det visade sig att tätning med expanderande fogband läckte även när betongytorna i fogen var behandlade med primer. Det gjordes även nya försök i mindre skala som också läckte. Däremot uppkom inget läckage för alternativet silikontätning på fogband. Emellertid uppkom inläckage för den vedertagna metoden och det förklarades med att utförandet var dåligt utfört, vilket senare gjordes om och då höll det tätt. TDV-öppning förefaller inte ha använts alls i försöken.

I försök konstaterade (Linden & Van Den Bossche, 2021) att tätning med expanderande fogband med öppna eller semi-öppna celler läcker genom själva materialet men inte med slutna celler. I försök med slutna celler och extra tätning i materialskarv uppkom läckage först vid 250 Pa och när expanderande fogband hade kompletterats i fogkryss med utvändig silikon eller butyl så klarade de lägre tryck men inte höga tryck som ibland kan förväntas. I dessa försök användes massivt trä i stället för betong. De omnämner också att avsatser eller dämmen utanför expanderad fogband skapar ofördelaktig vattenexponering varför fogbandet bör placeras jäms med den vattenexponerade ytan.

Stéphanie Van Linden betonar att enstegstätade lösningar gärna läcker och ofta inte klarar förväntad slagregnsexponering varför tvåstegstätning med dränering skulle kunna ge ökad täthet eller tillräcklig täthet för att klara krav på förväntad slagregnsexponering (Linden, 2022). Förutom fogmassa eller expanderande fogband i två steg med dränering så anges olika typer av gummilister utformade i två steg med dränering. Även trapetsformad horisontell elementskarv/fog och med tätning (med dränering) vid nivåskillnad antas som slagregnstät.

I Bulletin 74 (fib, 2014) finns exempel på så kallad dubbelfasader och ventilerade fasader. Ventileringens roll anges vara att förebygga regninläckage längre in i väggen och till insidan.

Fog & Brandskyddsföretagen har relativt nyligen gett ut en reviderad montageanvisning (Montageanvisning nr 1) för exempelvis fogning mellan fasadelement av betong (Fog&Brandskyddsföretagen, 2022). Flera av de anmärkningar och brister som konstaterades i SBUF rapport 13818 kan förmodligen undvikas genom att följa denna anvisning (Olsson, 2021).

Det finns en internationell, tidigare amerikansk, standardguide för användning av tätningssmassa/fogmassa ASTM C1193-16 (ASTM, 2016). Guiden ger exempelvis information och riktlinjer för konstruktören eller fogentreprenören om fogtätning.

3.2.1 Diskussion

I fib Bulletin 74 finns rekommenderad fogbredd, se tabell 1, angiven för olika elementlängder (fib, 2014). Vid elementlängder på 4 meter eller längre så avviker dessa rekommendationer från både SFRs tumregel enligt SFR Montageanvisning nr 1 och i förhållande till ingående beräkning (SFR Beräkningsmall nr 8) med hänsyn till max längd-utvidgningskoefficient för betong och förväntad max temperaturskillnad i Sverige (Fog&Brandskyddsföretagen, 2022). Detta kan vara en av flera förklaringar till

uppkomna fogsläpp/vidhäftningssläpp och varför för smala fogbredder ofta har tillämpats i Sverige (Olsson, 2021).

I fib Bullentin 84 (fib, 2014) anges att TDV-rör ska luta men utifrån bilderna kan det inte bli särskilt mycket lutning i horisontella fogar varför det då finns ökad risk för inläckage (Olsson, 2021). Det finns också angivet att två TDV-rör ska användas för element upp till 3 meter men utifrån teorin om tryckutjämning krävs förmodligen betydligt fler eller större öppningar (se avsnittet om tryckutjämning i detta dokument).

3.3 Slutkommentarer

Svagheter och problem med enstegstätning av elementfogar var kända för mer än 40 år sedan. Det förefaller som det redan fanns litteratur med ingående kunskap om inläckagemekanismer och principer med mer robusta lösningar med dränering för mer än 50 år sedan. Tvåstegstätade lösningar med dränering kan ha blivit misskrediterade på grund av fel eller brister i utförande vilket också enstegstätade fogar nog fått erfara. Exempelvis förefaller det som utåtlutande horisontella skarvar, dränering och dubbla tätningar med tryckutjämning i den yttre betongskivan är väsentliga principer att beakta samt att dimensionering av fogar och utförande är generellt sett av stor betydelse. I Nordamerika rekommenderas dränerad tvåstegstätning av både fogar/skarvar och genomföringar i fasaden.

Regntäthet tycks inte vara en egenskap hos prefabricerade betongsandwichväggar som har tilldragit överdrivet stort intresse inom fib, the International Federation for Structural Concrete i förhållande till många andra egenskaper. Däremot finns det i litteraturen spridda studier om specifika lösningar och vissa egenskaper men något heltäckande för hela fasadens och anslutningsdetaljers regntäthet verkar inte finnas att tillgå vilket också nämns av PCI (Farrington et al., 2019). Vi har inte kunnat se att den internationella tillämpningen av lösningar skiljer sig nämnvärt mot Sverige utan snarare har svenska leverantörer tagit intryck av den internationella organisationen. Däremot finns det litteratur i Nordamerika som framhåller dubbeltätning med dränering i den yttre betongskivans fogar som både är en rekommenderad och accepterad lösning.

4 Teori

4.1 Betongsandwichelement

Yttervägg av betongsandwichelement består av två betongskivor med mellanliggande isolering (betongskivorna är ofta helt bruten med isolering). Isoleringen utgörs ofta av PIR, PF, EPS och mineralullsskivor. Beroende på brandkrav och som köldbryggeisolering används ofta flera olika isoleringar i samma element, se figur 6.



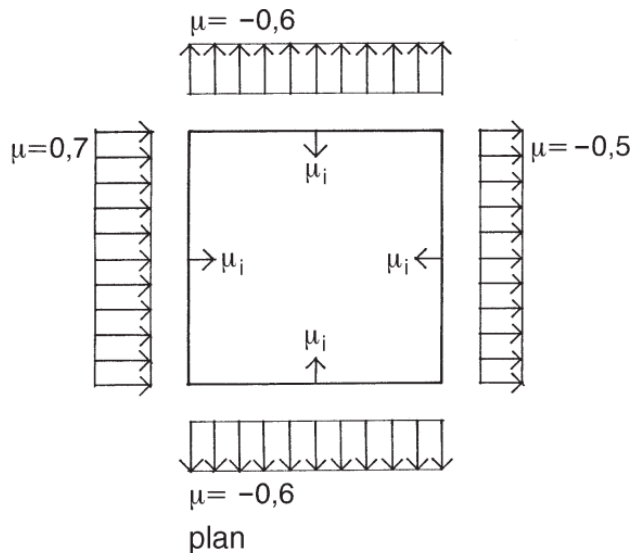
Figur 6. Exempel på gjutning av betongsandwichelement. Pågående gjutning av den andra betongskivan. I denna del av elementet användes mineralullsisolering närmast fönsteröppning och i övrigt EPS. (Olsson, 2021)

Den inre betongskivan är bärande och den yttre betongskivan är upphängd i den inre med rostfri/syrafasta anslutningar (bärankarsystem eller stegar). Elementen görs färdiga på fabrik med fönsteröppningar och fönstermontering utförs ofta i fabrik. Fasader målas ibland på fabrik. Ibland gjuts det på olika typer av fasadytskikt på den yttre betongskivan, exempelvis tegel, kakel etc. Vid montering behöver elementen ges en rörelsemån, både i vertikal- och horisontalled, på grund av framförallt temperatur och fuktrörelser i den yttre betongskivan. Fogarna på insidan gjuts vanligtvis igen med betong och vissa anslutningar tätas med fogmassa. På utsidan sätts vanligtvis en tätningfog av fogmassa. För att kunna applicera fogmassa krävs att fogen förses med en bottningslist först, se figur 1. Bakom bottningslistan ska det finnas en luftkanal samt drevning längre in för att erhålla en obruten isolering. På senare tid har expanderande fogband börjat användas som fogtätning enligt uppgift.

4.2 Vindtryck

Tryckskillnader över ytterväggar kan uppkomma på grund av vindbelastning, termik och ventilationsfläktar (Nevander & Elmarsson, 1994). Vid betydande vindhastigheter så har vindtrycket oftast störst betydelse. Exempelvis motsvarar vindhastigheter på 12 m/s, 17 m/s och 30 m/s vindtryck på ungefär 100 Pa, 200 Pa och 600 Pa (Gustavsson, 2009). Byggnadens dimensioner, omgivande landskap, vindhastighet och -riktning har betydelse vid beräkning av exempelvis vindtryck på en fasad (Hagentoft, 2001). Exempelvis uppkommer nästan lika stort tryck, men motsatt d.v.s. undertryck, på utsida

fasader som står parallellt med vindriktningen i jämförelse med den anblåsta fasaden, se figur 7. Om vinden ligger an mot fasaden, lovartsida, uppkommer ett övertryck mot fasaden och på motsatt fasad, läsida, uppkommer ett undertryck (Hagentoft, 2001).



Figur 7. Plan av byggnad påverkad av vindkrafter och värden på formfaktorer (Arfvidsson et al., 2017).

4.3 Designstrategier för regn- och lufttätethet

Några vanliga tätningsprinciper av fogar och skarvar är enstegstätning och tvåstegstätning (fib, 2014). Enstegstätning innebär exempelvis att fogar behöver göras helt täta eftersom regn och vindskydd ligger i samma plan. För tvåstegstätning separeras regn- och vindskydd med ett luftutrymme i mellan, se figur 2 och 3, och dränering, se figur 3. Luftutrymmet kan vara en hel luftspalt eller en tryckkammare i anslutning till fogen och dessa luftutrymmen står i förbindelse med uteluften. Om luftutrymmet har en fullständig tryckutjämnande funktion så uppkommer ingen lufttrycksskillnad över regnskyddet och därmed finns det inga tryckkrafter på grund av vind som driver in regnvatten. Däremot kan vatten ta sig in genom rörelseenergi hos vattendroppar, gravitation eller kapillära krafter (Olsson, 2018a). För att dessa tre krafter ska orsaka inläckage krävs exempelvis horisontella öppningar, öppningar/otätheter/sprickor som lutar in i väggen respektive öppningar på mindre än någon millimeter för kapillära krafter. Den kapillära kraften dominerar vid mindre än 0,1 millimeter (Nevander & Elmarsson, 1994).

När det gäller enstegstätning så får väggens inre lufttätethet stor betydelse. Om väggens insida är betydligt lufttätare än fasaden så minskar tryckkraften på fasaden. Att väggens insida skulle vara betydligt lufttätare än en enstegstätad fasad är nog ofta inte troligt. Däremot får väggens inre lufttätethet mindre eller liten betydelse för tvåstegstätning eftersom tryckkraften uppkommer över vindskyddet och inte över regnskyddet.

Det kan vara svårt att säkerställa ett helt tätt regnskydd (Olsson, 2014) för dessa två tätningsprinciper. Dessutom kan kondens uppstå och yrsnö kan tränga in i luftspalter

varför en sekundär regntätning bör eftersträvas. Den sekundära tätningen kan i många fall kombineras med vindskydd.

4.4 Tryckutjämning av fasad

Ventilationsöppning i fasader behöver vara tillräcklig i förhållande till lufttätheter i väggens insida och disponibel luftvolym i vägg för att inte tryckskillnader ska uppkomma över ytterväggens utsida/fasad, (Brown et al., 1991). I försök har det framkommit underlag för att kunna ta fram storleken på ventilationsöppningens area baserat på väggens lufttäthet, väggstommens uppbyggnad, väggens/luftspaltens volym (Rousseau et al., 1998), se formler nedan. Tryckskillnader kan uppstå av flera orsaker såsom vindpåverkan, termiska drivkrafter och allmänventilation av byggnaden. En uppskattning, genom beräkning, för påverkan av både dynamiskt och statiskt tryck kan göras enligt nedan. Den största ventilationsöppning av följande två formler är dimensionerande.

Dynamiskt tryck/tryckstötär:

Ventilationsöppning (m²) ≥ (Väggens volym som utgörs av tillgänglig luft (m³) / 50 m), om väggen är rigid (betongvägg)

Om denna volym antas vara 0,02 m³ så behöver ventilationsöppningen vara 400 mm² per kvadratmetervägg.

Statiskt tryck:

Ventilationsöppning (m²) ≥ 20 x läckagearean för väggindelning

Ett exempel på rimligt luftläckage av 0,1 l/s,m² vid 75 Pa motsvarar en ekvivalent läckagearea på 28 mm² (Rousseau et al., 1998) vilket vid 50 Pa skulle kunna motsvara ett ungefärligt luftläckage på 0,06 l/s,m², d.v.s. förutsätta 5 gånger bättre lufttäthet än 0,3 l/s,m² som är FEBYs krav för energieffektiva byggnader (FEBY). Det innebär att med ovanstående luftläckage behöver ventilationsöppning i fasader per kvadratmetervägg vara minst 20 x 28 mm som är lika med 560 mm², vilket är sju gånger större än ett TDV-rör (10 mm diameter) som normalt fördelas i varje fogkors och ofta representerar en yta på minst 9 m². Vidare innebär det att TDV-rörets öppningsarea blir 63 gånger för litet enligt denna tumregel för att kunna säkerställa tryckutjämning.

Dessutom, om det finns interna luftförbindelser i väggen så kan lokala skillnader i tryck uppkomma som inte inkluderas av ovanstående formler.

Detta resonemang visar på att det är otillräckligt att tillämpa normalt antal TDV-rör för att uppnå tryckutjämning i betongsandwichväggar även om det endast finns små lufttätheter i väggens insida.

5 Metod

Val av byggnader för fältmätning har valts ut av projektgruppen utifrån de förslag som funnits. Dock framkom ett fåtal byggnader varför alla godtogs.

Tryckmätningar har gjorts över yttervägg och särskilt över själva fasaden, som ska motstå slagregn. Mätinstrumenten är av typen mikromanometer, (fabrikat/modell: TEC DG-1000 och DG-700) med automatisk nollställning för att undvika drift. Mätintervallet har i regel varit 1 sekund men även 0,1 sekund har tillämpats. Mätvärdet varje sekund är ett medelvärde av 20 st avkänningar. Mätvärdet varje 0,1 sekund är ett medelvärde av 2 st avkänningar. Mätosäkerheten enligt instrumenttillverkaren bedöms vara det högsta värdet av $\pm 0,9\%$ eller 0,12 Pa.

Mobil väderstation har riggats upp i de flesta fall i anslutning till byggnader på en höjd över marken eller över byggnadens tak på ungefär 2 meter. Vindhastighet har mätts med koppanemometer och vindriktning (fabrikat/modell: Davis Instruments Vantage Pro2). Den högsta vindhastigheten under 60 sekunder och dess riktning har registrerats samt medel vindhastighet och vindriktning. Mätosäkerheten enligt instrumenttillverkaren bedöms vara $\pm 0,9$ m/s eller 5% (beroende på högst) för vindhastighet och $\pm 3^\circ$ för vindriktning. Dessa mätningar baserades på mätning var tredje sekund men registreringen görs endast för medelhastighet (under 60 sekunder) samt det högsta värdet (max vindhastighet under 60 sekunder).

Mätning har skett i 5 byggnader fördelat på 3 orter i Västra Götaland. Mättillfällena har försökts passats in i samband med kraftig blåst men också delvis vid mer eller mindre vindstilla som referens.

6 Beskrivning av mätobjekt/byggnader

Följande fältmätningar omfattar lufttrycksdifferensen över fasad och vägg samt vindhastighet och vindriktning. Fasadernas regntäthet med mera har inte omfattats i dessa fältmätningar.

6.1 Objekt 1A-C

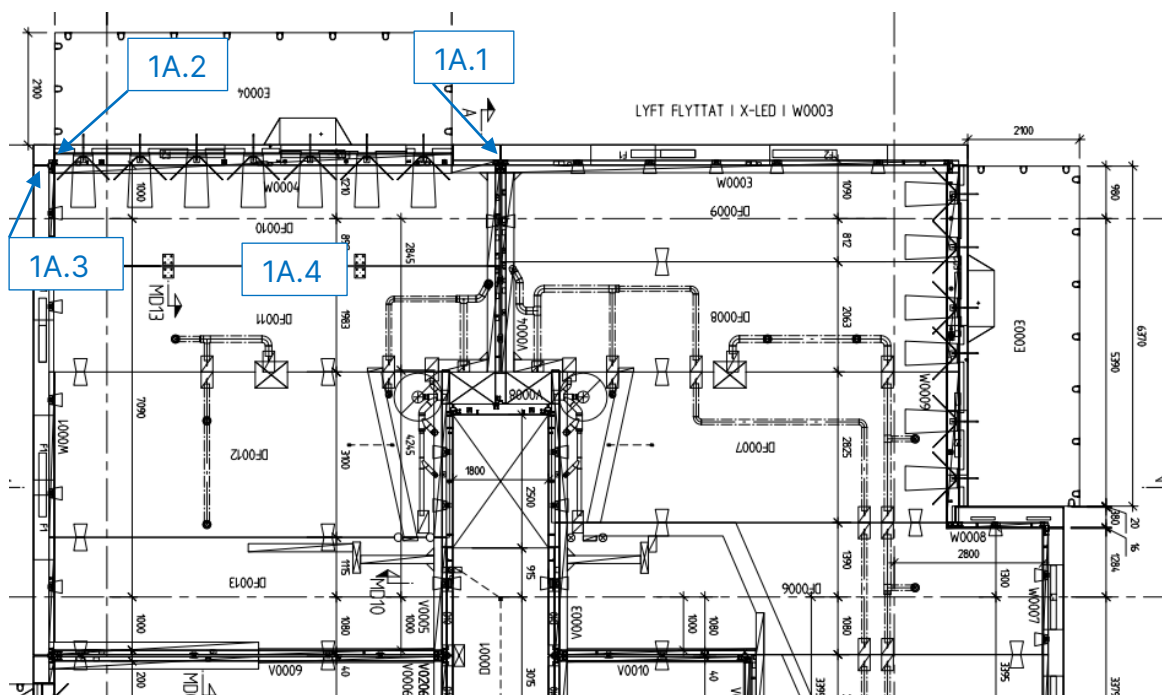
Objekt 1A-C utgörs av tre lika byggnader som är lokaliserade i Borås på ett inbördes avstånd av ungefär 30 meter och placerade längs en tänkt linje i syd-nordlig riktning, se figur 8. Byggnaderna är av typen punkthus i åtta våningar och med yttervägg och väggstomme av betongsandwichelement med cellplastisolering mellan den yttre och inre betongskivan. Allmänventilationen är ett mekaniskt till- och frånluftsystem. Längden på elementen är 8,7 meter i söderfasad och skarvarna är tätade med bottningslist och fogmassa, se figur 10. TDV-rör finns i varje fogkryss samt vid balkongsidor. Mätning av tryckskillnad gjordes på plan 7 i objekt 1A-1B. Mätpunkterna placerades i två punkter i söderfasad i fogkryss (slangen fördes in 30 cm via TDV-rör) respektive vid balkongsida (slangen fördes in 30 cm via TDV-rör) eller i vägg ca 1 meter från vägg-hörn, se figur 9 och 11. Borrning/hål inifrån gjordes för att mäta i utsida av väggisolering för objekt 1B. I österfasad har mätpunkten placerats i fogkryss (slangen fördes in

30 cm via TDV-rör) nära vägghörn eller i vägg ca 1 meter från vägghörn. I objekt 1C har mätningar skett på plan 1 i väster- och norrfasad. I norrfasad är mätpunkten placerad i vägg ca 0,5 meter från nederkant av väggelement och minst 3 meter från vertikal fog, borrhål gjordes inifrån för att mäta i utsida av väggisolering. I västerfasad är mätpunkt placerad ungefär 0,5 meter från nederkant av väggelement, borrhål har utförts inifrån för att mäta i utsida av väggisolering, och flera meter från vertikal fog. Den andra mätningen var placerad i hushörn vid balkongsida (slangen fördes in 30 cm via TDV-rör) och nära vertikal fog. För att kunna mäta tryckskillnad så har referenspunkten placerats direkt utanför fasaden. Dessutom har tryckskillnad mätts över yttervägg (mätpunkt 1A.4), mellan inne och ute.

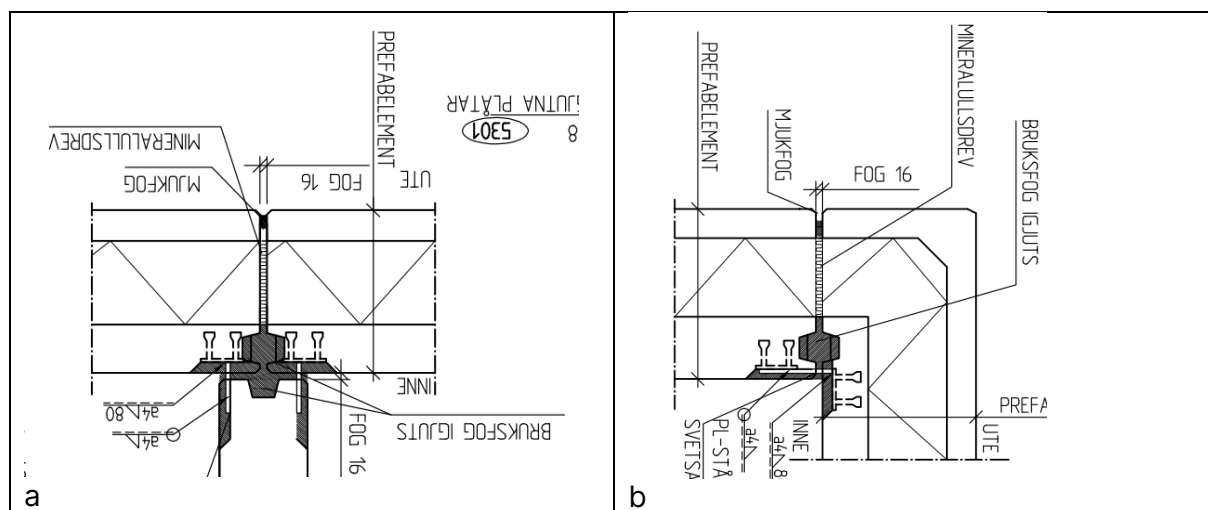
Väderstationen var placerad ungefär 50 meter framför söderfasad, objekt 1A.



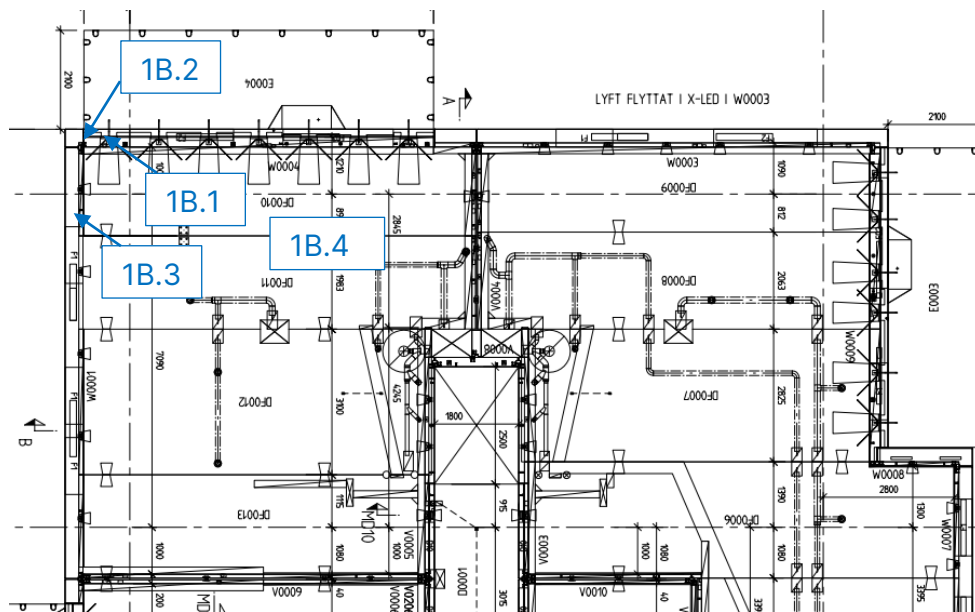
Figur 8. Objekt 1A, söderfasad (väderstreck åt söder, ca 175°), objekt 1C syns bakom. Objekt 1B är skymd och ligger mellan 1A och 1C.



Figur 9. Mätpunkternas placering, plan 7 (objekt 1A).



Figur 10. (a) Elementfog i mätpunkt 1A.1. (b) Elementfog nära ytterhörn i mätpunkt 1A.3.

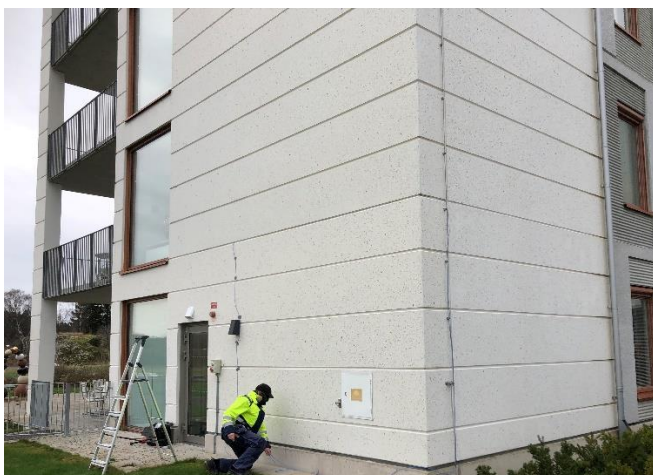


Figur 11. Mätpunkternas placering, plan 7 (objekt 1B).

6.2 Objekt 2

Objekt 2 är ett byggnadskomplex med många flyglar. Gaveln på aktuell flygel är vänd åt söder, se figur 12. Byggnaden har 5 våningar/plan över marknivå och väggarna utgörs av betongsandwichelement med cellplastisolering av fenol mellan den yttre och inre betongskivan. Allmänventilationen är ett mekaniskt till- och frånluftsystem. Längden på gavelelementen är 9 meter (söder), 5 meter i österfasad och 3 meter i västerfasad, och skarvarna är tätade med bottningslist och fogmassa. TDV-öppning utgörs av en vertikal kanal i fogen med fogmassa. Vertikal fog finns inte i gavel (söder) men vid vägghörn i anslutande väster och österfasad, se figur 13. Mätning av tryckskillnad gjordes på plan 2 och 5. Mätpunkterna placerades i 2 punkter i söderfasad dels i horisontell fog fördelade mitt på fasad, se figur 12 och 14, dels nära hörn som ansluter mot väster, se även figur 15 och 16. Dessutom har borrning/hål inifrån gjorts för att mäta i utsida av väggisolering. I österfasad placerades mätpunkten i vertikal fog via TDV-öppning (slangen fördes in 30 cm) nära hörn som ansluter till söder, se figur 13. På motsvarande sida, västerfasad, av byggnaden placeras mätpunkten bakom fog och denna fog hade ingen TDV-öppning. På denna sida av byggnad är det en vinkel på byggnaden och balkonger. Dock var mätpunkter i österfasad och mitt på söderfasad undantaget på plan 5. För att kunna mäta tryckskillnad så har referenspunkten placerats direkt utanför fasaden. Dessutom har tryckskillnad mätts över yttervägg, mellan inne och ute.

Väderstationen var placerad ungefär 80 meter framför söderfasad.



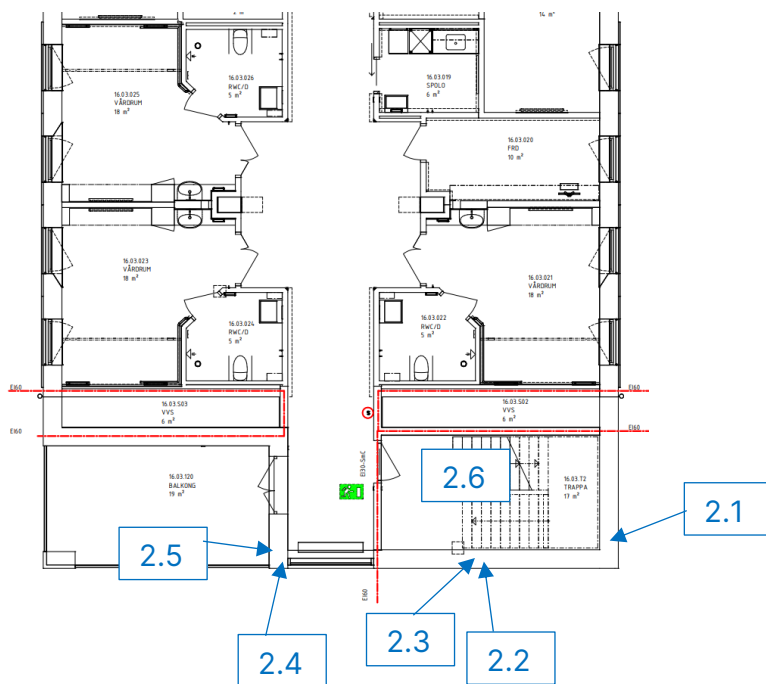
Figur 12. Söderfasad (väderstreck åt söder ca 170°), Pågående montering av mätslang i horisontell fog, plan 2, mitt på fasad, se figur 14 nedan.



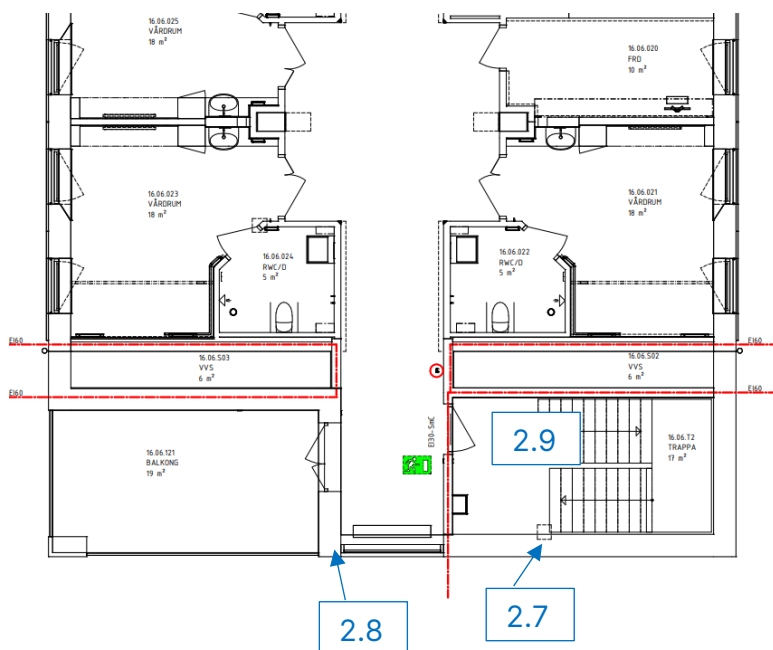
Figur 13. Objekt 2, österfasad med mätslang (blå) placerad i vertikal fog via TDV-rör. Till vänster på bilden är gavel åt söder.



Figur 14. Söderfasad. Mätslang monterad genom fog bakom fogmassa och bottningslist.



Figur 15. Mätpunkternas placering, plan 2.



Figur 16. Mätpunkternas placering, plan 5.

6.3 Objekt 3

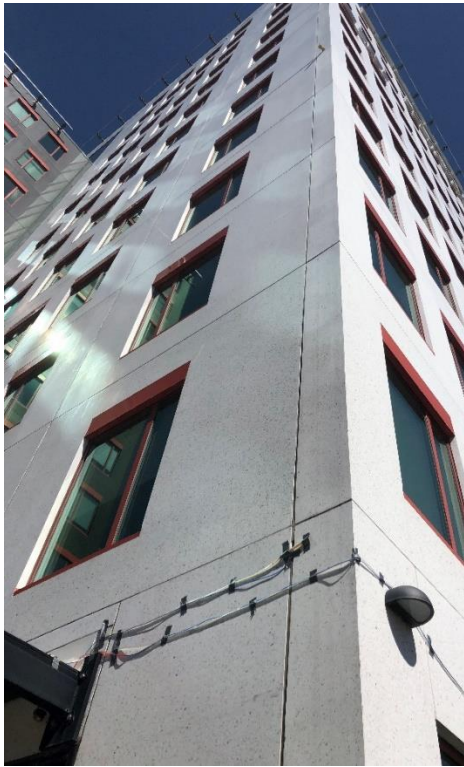
Byggnaden är av typen hög byggnad i 12 våningar, vinklad byggnad, med yttervägg av betongsandwichelement med cellplastisolering (175 mm) mellan den yttre (75 mm) och inre betongskivan (180 mm), se figur 17. Allmänventilationen är ett mekaniskt till- och frånluftssystem. Längden på väggelementen är ca 7,5 meter i söderfasad, se figur 17,

och i västerfasad ca 4 meter, och skarvarna är tätade med fogmassa och bottningslist. TDV-öppningar finns i varje fogkryss. Mätning av tryckskillnad gjordes på plan 2 och 5, se figur 19 och 20. Mätpunkterna placerades i söderfasad för båda planen samt i västerfasad nära hushörn, se figur 14, mot söder på plan 2. Mätpunkterna har placerats i fogkryss och mätslang har placerats bakom fogtätning antingen via TDV-öppning (slangen fördes in 30 cm) eller genom håltagning inifrån. För att kunna mäta tryckskillnad så har referenspunkten placerats direkt utanför fasaden. Dessutom har tryckskillnad mätts över yttervägg mellan inne och ute.

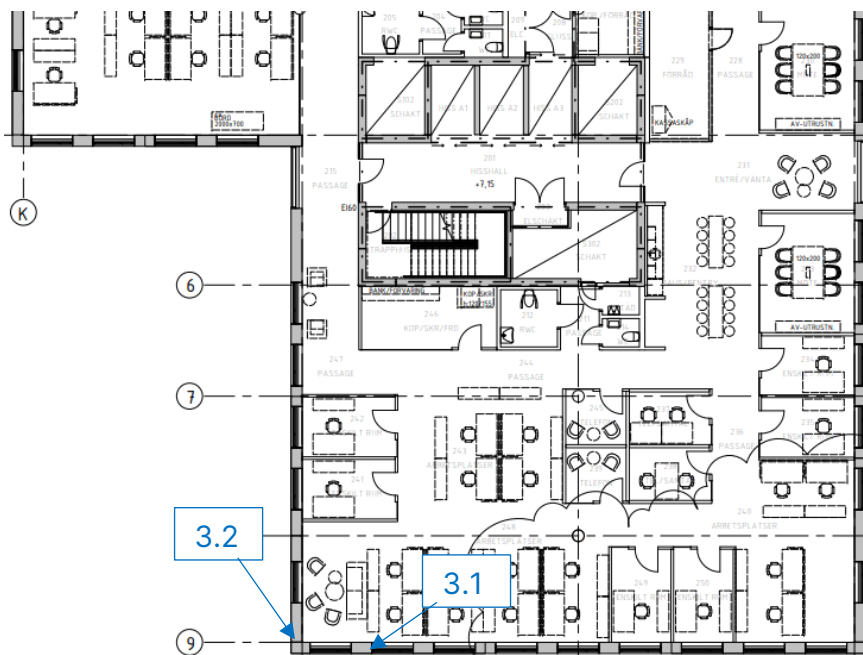
Väderstationen var placerad på taket.



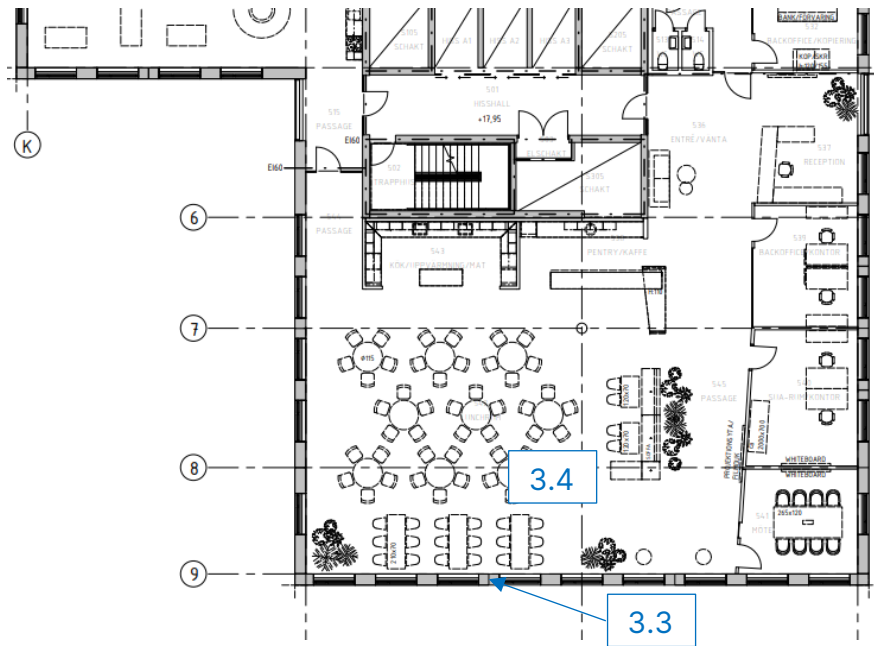
Figur 17. Söderfasad (väderstreck åt söder ca 165°). Mätslang monterad i fogkryss via TDV-öppning (plan 2).



Figur 18. Västerfasad. Mätlang monterad via TDV-öppning nära hushörn mot söder.



Figur 19. Mätpunkternas placering vid plan 2.



Figur 20. Mätpunkternas placering på plan 5.

7 Resultat

7.1 Objekt 1A

Mätningar i söderfasad (1A.1), den 10 maj 2023, uppkom max tryckskillnader, när det gäller undertryck i vägg, på nästan -30 Pa när vindhastigheten var 5-8 m/s och vindriktning sammanföll mer eller mindre med fasadens normal, se tabell 2. När vinden bytte riktning uppstod tryckskillnad på omkring +20 Pa, övertryck, i vägg. I samma söderfasad men med placering nära vägghörn vid balkong (mät punkt 1A.2) uppkom den största tryckskillnaden, när det gäller undertryck i vägg, på nästan -40 Pa, vid en vindhastighet på strax över 5 m/s och vindriktning som sammanfall med fasadens normal. Tryckskillnaden över hela ytterväggen (mät punkt 1A.4) visade på max tryckskillnader, inne mot ute, på omkring -50 Pa, undertryck. Det är förväntat med större tryckskillnad över hela väggen än över fasaden eftersom allmänventilationen förmodligen skapar ett visst kontinuerligt undertryck. Det uppkom ett förhållandevis stort övertryck i österväggen på över +65 Pa, nära hushörn åt söder, vid en vindhastighet av 5-7 m/s och vindriktning från motsatt fasad.

Medelvärdet av tryckskillnad sammanställdes under hela mätperioden den 10 maj. Medelvärdet av tryckskillnad i söderfasad (mät punkt 1A.1) var -4,5 Pa (undertryck i vägg mot ute). Medelvärdet av tryckskillnad inne (mät punkt 1A.4) mot ute var -6,5 Pa (undertryck). Medelvärdet av tryckskillnad i österfasad (mät punkt 1A.3) var 3,7 Pa.

7.2 Objekt 1B

Mätningar i söderfasad (mät punkt 1B.1), den 3 november 2022, visar en max tryckskillnad på omkring -30 Pa, undertryck, i vägg vid en medel vindhastighet av 4-5 m/s (medelvärde under en timme, se tabell 2. Även här var tryckskillnaden större över ytterväggen (mät punkt 1B.4), inne-ute, med omkring 3-4 Pa större.

För att få en uppfattning om vilken betydelse mätintervallet har så mättes tryckskillnaden med 0,1 sekunders mätintervall. Exempelvis, se figur B2.2a i bilaga 2, visas tryckskillnad under tidsintervall kl. 14.00.52-14.00.53 på max 16,8 Pa, min 10,8 Pa och medel 13,3 Pa. Under tidsintervall kl. 14.07.48-14.07.49 var tryckskillnaden på max 20,2 Pa, min 10,8 Pa och medel 16,6 Pa. Utifrån detta underskattas maxtrycket, med uppskattningsvis 20%, vid mätintervallet 1 sekund. En förklaring till varför max tryckskillnader generellt blev lägre vid detta mättillfälle kan bero på att vinden ändrade riktning till sydost.

7.3 Objekt 1C

Mätresultat, se bilaga 1C.

7.4 Objekt 2

Vid mättillfället den 29 november 2022 uppkom i österfasad (mät punkt 2.1) max tryckskillnad, undertryck i vägg, på -4 Pa när vindhastigheten var 2 m/s och vindriktning sammanföll nästan med fasadens normal, se tabell 2. Samtidigt uppkom max tryckskillnad, övertryck, på +6 Pa i vägg i söderfasad (mät punkt 2.2).

Vid mättillfället de 11 januari 2023 uppkom i västerfasad (mätpunkt 2.5) max tryckskillnad (undertryck) på -44 Pa i vägg när vindhastigheten var 7 m/s med vindriktning från sydväst. I söderfasad (mätpunkt 2.2) uppkom också tryckskillnader på över -40 Pa (undertryck) i vägg när vindhastigheten var omkring 8 m/s och vindriktning från sydväst.

Tryckskillnaden över hela ytterväggen (mätpunkt 2.6) visade på max tryckskillnader, inne mot ute, på -55 Pa undertryck när vindhastigheten var 6 m/s och sydlig vindriktning, se tabell 2. I samband med västlig vindriktning uppkom en tryckskillnad (övertryck) på +45 Pa. Även här var tryckskillnaden större över hela ytterväggen (inne-ute) med uppskattningsvis 10-15 Pa i jämförelse med fasadskiktet.

7.5 Objekt 3

Vid mättillfället den 9 maj uppkom i söderfasad (mätpunkt 3.3) max tryckskillnader, undertryck i vägg, på nästan -28 Pa när vindhastigheten var 8 m/s och vindriktning sammanföll mer eller mindre med fasadens normal, se tabell 2. I samband med ostlig vindriktning uppkom en tryckskillnad (övertryck) på +61 Pa i vägg i söderfasad (mätpunkt 3.3) när vindhastigheten var 9 m/s. Däremot var tryckskillnaden ungefär 7-8 Pa mindre över hela väggen än över fasadskiktet vilket förmodligen indikerar på ett övertryck inomhus på plan 5. Det uppkom även ett stort övertryck på +90 Pa inne (mätpunkt 3.4) mot ute trots att vindriktningen var mer eller mindre mot fasaden normal. Eventuellt indikerar detta på att mätstationen och de faktiska luftströmmarna vid fasaderna avvek betydligt från varandra. I västerfasad (mätpunkt 3.2) uppkom max tryckskillnad (övertryck) på +130 Pa i vägg när vindhastigheten var 7 m/s med vindriktning från öster.

Tabell 2. Exempel på max vindhastighet och vindriktning, max tryckskillnad (medel under 1s) för respektive objekt och mätpunkt, för flera tidpunkter. Fullständiga resultat redovisas i bilaga 1-5. Resultat för objekt 1C, se bilaga 3.

Obj.	Mätp.	Ref.punkt	Datum	Tidp.	V [m/s]	V-rikt.	T. [Pa] +/- avser mätp.	
1A	1 Söderfas.	Ute söder	230510	11.24	6	Söder	-29	
		"	"	12.21	5	"	-28	
		"	"	12.42	5	"	-28	
		"	"	12.43	4	Nordost	+21	
		"	"	12.35	5	"	+20	
		"	"	"	11.22	8	"	+18
		"	"	"	"	"	"	"
1A	2 Söderfas. (balkong vid hörn)	Ute söder	230510	12.21	5	Söder	-39	
		"	"	11.44	5	"	-36	
		"	"	12.42	4	"	-30	
		"	"	11.52	5	Öster	+45	
		"	"	11.31	?	?	+35	
1A	3 Österfasad	Öster	230510	11.44	6	Öster	-21	
				11.47	6	Norr	+65	
				12.13	3	Väster	+41	

1A	4 Inne	Ute söder	230510	12.21	5	Söder	-55
			"	12.42	5	"	-49
			"	11.24	6	"	-49
			"	12.43	4	Nordost	+32
			"	11.49	6	Norr	+26
			"	11.21	8	Nordost	+26
1B	1 Söderfasad	Ute söder	221103	11.35	(5)	(Söder)	-28
			"	13.06	"	"	-27
			"	13.21	"	"	-22
1B	2 Söderfasad (balkong nära hörn)	Ute söder	221103	13.06	(5)	(Söder)	-32
			"	11.35	"	"	-28
			"	13.21	"	"	-27
1B	4 Inne	Ute söder	221103	12.48	(5)	(Söder)	-36
			"	11.35	"	"	-32
			"	13.06	"	"	-30
2	1 Österfasad (nära hörn, plan 2)	Ute öster	221129	17.53	2	Öster	-4
			"	18.11	1	"	-3
			"	18.21	1	"	-3
2	2 Söderfasad	Ute söder	221129	17.53	2	Öster	+6
				18.21	1	"	+2
2	5 Västerfasad (nära hörn, plan 2)	Ute väster	230111	08.25	-	-	-61
			"	08.48	7	Sydväst	-44
			"	08.59	8	"	-36
			"	09.27	6	Väster	-20
2	2 Söderfasad (fog, plan 2)	Ute söder	230111	08.20	-	-	-41
			"	08.44	8	Sydväst	-28
			"	08.47	8	"	-24
2	3 Söderfasad (btg, plan 2)	Ute söder	230111	08.12	7	Sydväst	-45
				08.44	8	"	-31
				08.47	8	"	-30
2	6 Inne	Ute söder	230111	08.13	6	Söder	-55
				08.43	7	"	-38
				08.47	8	Sydväst	-38
				9.13	7	Väst	+45
				9.27	6	Väst	+33
				9.07	6	Väst	+21
3	3 Söderfasad, TDV, fog, (plan 5)	Ute söder	230509	12.24	-	-	-49
				14.59	8	Söder	-28
				14.44	11	Söder	-22
				14.21	14	Sydost	-21
				14.33	10	Öster	+39
				15.19	10	Öster	+43
3	4 Inne (plan 5)	Ute söder		12.24	-	-	-82
				14.21	10	Sydost	-13

				14.59	8	Söder	-21
				14.52	12	"	+91
				14.58	8	"	-21
				15.12	6	Väster	+50
3	1 Söderfasad (TDV) (plan 2)	Ute söder		14.21	14	Sydost	-20
				14.59	8	Söder	-16
				14.22	10	Sydöst	+22
				14.33	10	Öster	-12
				14.25	12	Sydöst	+16
3	2 Västerfasad (TDV, nära hörn), plan 2	Ute väst		15.12	6	Väst	+0
				12.24	11	Söder	+100
				14.44	7	Öster	+130
				15.16	7	Öster	+81

8 Diskussion

Exempelvis i samband med vindriktning mot fasadens normal uppkom större tryckdifferens över hela väggen än över själva fasaden/fogtätningen. Detta är förväntat eftersom allmänventilationen skapar i regel undertryck inomhus mot ute. Dock uppmättes mindre tryckdifferens över hela ytterväggen än över själva fasaden för objekt 3 på plan 5, vilket är en indikation på att allmänventilation hade ett generellt övertryck. Utifrån tryckdifferensmätningar dels över hela väggen dels vid beaktande av aktuella vindhastigheter så har det inte framkommit något som pekar på att TDV öppningarna haft någon nämnvärd tryckutjämnande effekt.

Det har förmodligen uppkommit lokala luftströmmar vid väderstation och kring aktuella byggnader beroende på exempelvis omgivning och närliggande hinder etc som kan ha haft inverkan vid jämförelse mellan vindhastighet, vindtryck och vindriktning. Vi bedömer att omgivningen torde påverkat minst vid objekt 2 men sannolikt mest vid objekt 3 och objekt 1B. Exempelvis är det en eller flera hundra meter öppna fält framför objekt 1A och 2 i sydlig riktning men vid objekt 3 finns det en innergård och med varierande höjd på omgivande byggnader. När det gäller påverkan på mätpunkt inne så har inga fönster eller dörrar öppnats i anslutande utrymme i byggnad 1 och 2 under mätning. I objekt 3, på plan 5, fanns inga öppningsbara fönster eller de kontrollerades att de var stängda. Dock fanns förbindelse via hissar/trapphus, som användes kontinuerligt, där vi inte vet om det har påverkat något.

I de fall mätslang förts in via TDV-rör så bedöms de ha marginell betydelse eftersom areaförhållandet mellan slang (och ståltråd) och TDV-öppning utgör en femtondel av arean i TDV-rör och kanske en femtiondel av fogöppning.

Vi valde genomgående att använda ett mätintervall för tryckskillnad på 1 sekund (medelvärde under 1 sekund). Detta valdes dels för att kunna hantera mätdata (svårt med stora mätfiler i excel) dels för att enklare kunna kombinera olika mätdata i samma diagram. Denna kombination har inte gjorts på grund av att det hade krävts mer tidsåtgång än som fanns till förfogande. I objekt 1B gjordes mätningar både med 0,1 och 1

sekunders mätintervall. Dock utfördes det inte parallellt varför jämförelse inte går att göra direkt. Dessutom ändrade vinden riktning mellan de olika mätningarna, se figur B2.1. Mätintervallet 1 sekund baseras på 20 värden från 0,05 sekundsmätning. Detta innebär ett medelvärde och att högre tryckskillnad skulle kunna ha uppkommit vid mätintervallet 0,1 sekund. Vidare så är 0,1 sekunders intervallet ett medel av två avkänningar varför det i sin tur kan eventuellt ge ett underskattat värde. Utifrån diagram B2.2 så skiljer det ungefär 20% mellan max- och medelvärde. Detta skulle i så fall innebära att maxvärdena är underskattade i denna storleksordning. Huruvida det finns snabbare förlopp än 0,1 s har inte studerats i denna studie.

I denna studie har det förutsatts att det ska blåsa kraftigt i samband med mätning. Dock har det varit lite eller inga stormar eller att det sällan varit extra kraftig vind. Det kan ha funnits några tillfällen men då har det varit helg, nattetid, fel vindriktning och ej tillgänglig personal etc. Detta med att passa in mätningar vid rätt tillfälle är svårplanerat.

Mätningarna visar på att vinden skapar pulserande tryck i väggen och en puls varar ofta omkring 15 sekunder men ibland kortare tid och ibland längre tid. Själva ändringen sker ofta relativt snabbt inom en eller några sekunder. Pulserna i provningsmetoden EN 12865, Bestämning av ytterväggars täthet mot slagregn vid pulserande tryck, varar i 15 sekunder och ändringen inom några sekunder vilket motsvarar ungefär det mätningarna visar i exempelvis figur B1.2b-c och B2.2b. Provningsmetoden förefaller vara relativt realistisk utifrån dessa iakttagelser.

9 Slutsats

Mätningar visar exempelvis tryckskillnader över fasadskiktet eller över fogtätningar på -30 eller -40 Pa, undertryck, i vägg vid vindhastigheter omkring 5-8 m/s. Dessa värden på undertryck är förväntade utifrån teorin vid aktuella vindhastigheter och avsaknad av tryckutjämning. Dessa mätningar kan vara underskattade med uppskattningsvis 20 procent beroende på tillämpat mätintervall av 1 sekund men högre tryckskillnad kan förväntas med 0,1 sekunds mätintervall. Generellt sett visar mätningarna genomgående på betydande max tryckskillnader vid relativt låga vindhastigheter. Uppmätta fasader/väggar uppvisade därmed inte en tryckutjämnande funktion (jämställning av tryck). Någon betydande effekt av TDV-öppning eller nämnvärd skillnad mellan olika typer av TDV-öppningar har inte framkommit. Aktuella TDV-öppningar har därmed inte visat på nämnvärd tryckutjämning utan snarare verkar det ha varit otillräckligt med öppningar. Detta med otillräckliga öppningar överensstämmer således med tidigare studie (SBUF 13818) och i litteratur om dimensionering av öppningar (Rousseau et al., 1998).

10 Förslag på fortsatt forskning

För att kunna dimensionera och projektera säkrare tätningslösningar behövs mer exakta uppgifter om hur väl olika lösningar fungerar och lösningars faktiska funktion.

Regntätheten hos fogar och för olika typer av fogtätningar behöver delvis utvecklas och testas för mer pålitlig tätning. Den faktiska funktionen bör testas och dokumenteras, exempelvis för tvåstegstättning bör regntäthet, dränering och tryckutjämning testas både under kontrollerade förhållanden och följas upp i fält.

Dimensioneringsmetodik och utformning av luftspalter/luftkanaler behöver studeras för tryckutjämning i betongsandwichväggar. Hur stora behöver ventilationsöppningar vara och dess fördelning i aktuella fasader?

Regntätheten hos olika TDV-öppningar behöver studeras. Exempelvis kan öppningars dimensioner och form, nivåskillnad mellan inlopp och utlopp och materialtyp ha betydelse.

Mer pålitliga tätningslösningar behöver testas för fönster-, dörr-, balkong-, tak- och grundanslutningar för att kunna precisera både egenskaper och funktion.

Sprickors betydelse i betongväggar i kombination med regntäthet behöver undersökas.

Dräneringsförmåga hos betongsandwichväggar behöver testas. Det finns trots allt risk för inläckage under transport, lagring och produktionen på byggplats, vid misstag eller felaktigheter i nya fasader eller inläckage i befintliga fasader som åldrats och behöver åtgärdas/renoveras. Därav ser vi ett behov av att studera dräneringsförmåga vilket ger uppgifter om vatten kan dräneras ut och hur mycket vatten som blir kvar i väggen. Detta är en uppgift som saknas idag men behövs vid exempelvis fuktdimensionering, värmetransportberäkning och riskanalyser.

Studier kan behöva göras av beständighet hos dagens tätningsmaterial och materialkombinationer och för avsedd tillämpning. Därtill kan tätningar och lösningar behöva studeras med avseende på andra fukttransportsätt och fuktsäkerhet i sin helhet.

Det behövs en heltäckande guide med goda tätningsprinciper för dagens olika konstruktioner, lösningar och material med dokumenterade egenskaper, funktion och hållbarhet.

Litteraturförteckning

- ARFVIDSSON, J., HARDERUP, L.-E. & SAMUELSON, S. 2017. *Fukthandbok - Praktik och teori*, Stockholm, AB Svensk Byggtjänst.
- ASTM 2016. ASTM C1193-16 - Standard Guide for Use of Joint Sealants. West Conshohocken, USA: ASTM International.
- BEDNAR, T. & HAGENTOFT, C.-E. 2015. Annex 55-Reliability of Energy Efficient Building Retrofitting- Probability Assessment of Performance and Cost (RAP-RETRO), Report 2015:7. *International Energy Agency (IEA) och Energy in Buildings and Communities Programme (EBC)*. Gothenburg: Chalmers University of Technology.
- BROWN, W., ROUSSEAU, M. & DALGLIESH, A. 1991. Field Testing of Pressure-Equalized Rain Screen Walls. *In: DONALDSSON, B. (ed.)*. ASTM.
- BRYCKE, E. & SVENSSON TENGBERG, C. 2019. Fukt i prefabricerade betondsandwichelement (Moisture in Precast Sandwich Elements (ID:13651). Stockholm, Sweden: SBUF Svenska Byggbranschens Utvecklingsfond.
- FARRINGTON, E. S., ANDERSON, T., GRANT, L. & SERADERIAN, R. 2019. Precast Concrete-To-Precast Concrete Facade Joints Using Precompressed Expandable Foam. *PCI Journal*, 64, 11.
- FEBY Byggnadskrav. Forum för Energieffektivt byggande.
- FIB 2014. *Planning and design handbook on precast building structures, Manual - textbook (Bulletin 74)*, International Federation for Structural Concrete.
- FIB 2017. *Precast Insulated Sandwich Panels. State of the art report - State of the art report (Bulletin 84)*, International Federation for Structural Concrete.
- FIB 2021. *Precast Concrete in Tall Buildings - State of the art report (Bulletin 101)*, International Federation for Structural Concrete.
- FOG&BRANDSKYDDSFÖRETAGEN 2022. Montageanvisning nr 1 - Fogning mellan fasadelement av betong.
- GUSTAVSSON, B. 2009. Fönstermontage (SP rapport 2009:35). Borås: SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut.
- HAGENTOFT, C.-E. 2001. *Introduction to building physics*, Lund, Sweden, Student literature.
- HASSELBLAD, V. & ANDERSSON, K. A. 1972. Fogar i betongelementfasader (R42:1972). Stockholm: Statens institut för byggnadsforskning, Stockholm (anslag C 529).
- ISAKSEN, T. Rain Penetration in Joints - Influence of Dimensions and Shape of Joints on Rain Penetration. RILEM/CIB Symposium on "Moisture Problems in Buildings", 1966 Helsinki. Norwegian Building Research Institute
- JERLING, A. & SCHECHINGER, B. 1983. Fogars beständighet - Fogar i ytterväggar "Joint resistance - Joints in exterior walls"(R89). *Statens råd för byggnadsforskning 790200-0*. Stockholm: Chalmers University of Technology, Gothenburg.
- KUDDER, R. J. & ERDLY, J. L. 1998. *Water leakage through building facades*, ASTM International.
- LACASSE, M. A., MIYAUCHI, H. & HIEMSTRA, J. 2009. Water Penetration of Cladding Components—Results from Laboratory Tests on Simulated Sealed Vertical and Horizontal Joints of Wall Cladding. *Journal of ASTM International*, 6.
- LINDEN, S. V. 2022. *Fourth Generation Watertightness: A Performance-Based Strategy to Control Rainwater Infiltration in Façade Systems*. Doctoral thesis, Ghent University.

- LINDEN, S. V. & VAN DEN BOSSCHE, N. 2021. Comparative study on the feasibility of watertight face-sealed building joints under simulated winddriven rain conditions. *Building Research & Information*, 49:7, 748-762.
- NEVANDER, L.-E. & ELMARSSON, B. 1994. *Fukthandbok- praktik och teori*, Stockholm, AB Svensk Byggtjänst.
- OLSSON, L. 2014. Results from laboratory tests of wind driven rain tightness in more than 100 facades and weather barriers. *10th Nordic Symposium on Building Physics, 15-19 June*. Lund, Sweden: Lund University.
- OLSSON, L. 2018a. *Driving rain tightness, intrusion rates and phenomenology of leakages in defects of façades : A new calculation algorithm*. Doctoral thesis, Chalmers University of Technology.
- OLSSON, L. 2018b. Regninläckage och dess mekanismer i fasader- En ny beräkningsalgoritm, ID:12847. Stockholm: SBUF Svenska Byggbranschens Utvecklingsfond.
- OLSSON, L. 2021. Regntätthet hos prefabricerade betongsandwichväggar med fönster- och balkonganslutningar (ID:13818). Stockholm: SBUF Svenska Byggbranschens Utvecklingsfond.
- ORLOWSKI, K., SHANAKA, K. & MENDIS, P. 2018. Design and Development of Weatherproof Seals for Prefabricated Construction: A Methodological Approach. *Buildings*, 8 (117), 22.
- PCI 2007. *Architectural Precast Concrete*, Chicago, US, Precast/Prestressed Concrete Institute.
- ROUSSEAU, M. Z., POIRIER, G. F. & BROWN, W. C. 1998. Pressure Equalization in Rainscreen Wall Systems. National Research Council of Canada.
- SMHI 2023. Öppna data. Norrköping: Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut.
- STRAUBE, J. 2013. High Performing Precast Concrete Building Enclosures: Rain Control. *Building Science Corporation*. Ontario, Canada.

Bilaga 1, byggnad 1A (Borås)

Mättillfälle 10 maj 2023


Idag
 10 maj


20°
 7°


0,0 mm

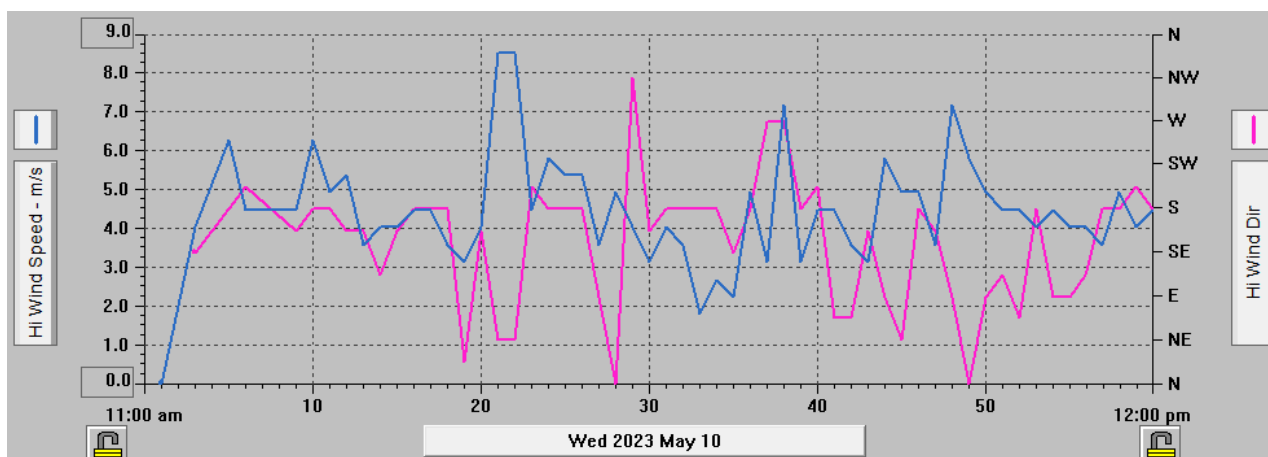

6 m/s ↖
 10 m/s


04.57
 21.14

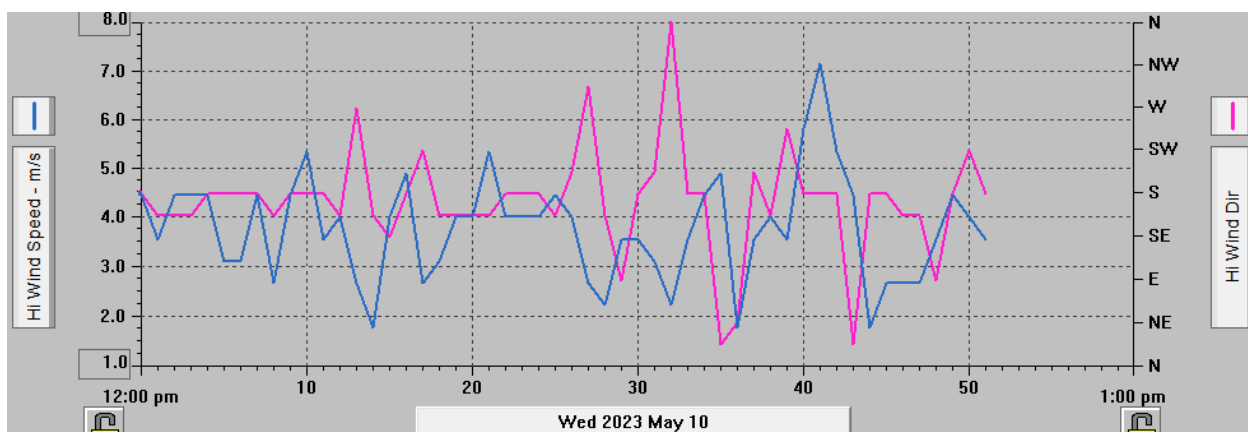
Dygnet's nederbörd räknas från ons 00.00 till ons 14.00.

Tid	Väder	Nederbörd mm	Vind m/s (byvind)	Känns som °C	Luftfuktighet %	Lufttryck hPa	Sikt km
14	 20°	0,0	SO ↖ 6 (10)	20°	23	1015	20 - 50
13	 19°	0,0	SO ↖ 6 (11)	19°	24	1015	20 - 50
12	 18°	0,0	SO ↖ 6 (11)	18°	27	1015	20 - 50
11	 17°	0,0	SO ↖ 6 (13)	17°	29	1015	20 - 50
10	 16°	0,0	SO ↖ 5 (13)	16°	34	1015	20 - 50
09	 14°	0,0	SO ↖ 4 (9)	14°	40	1015	20 - 50
08	 12°	0,0	SO ↖ 4 (8)	12°	47	1016	20 - 50

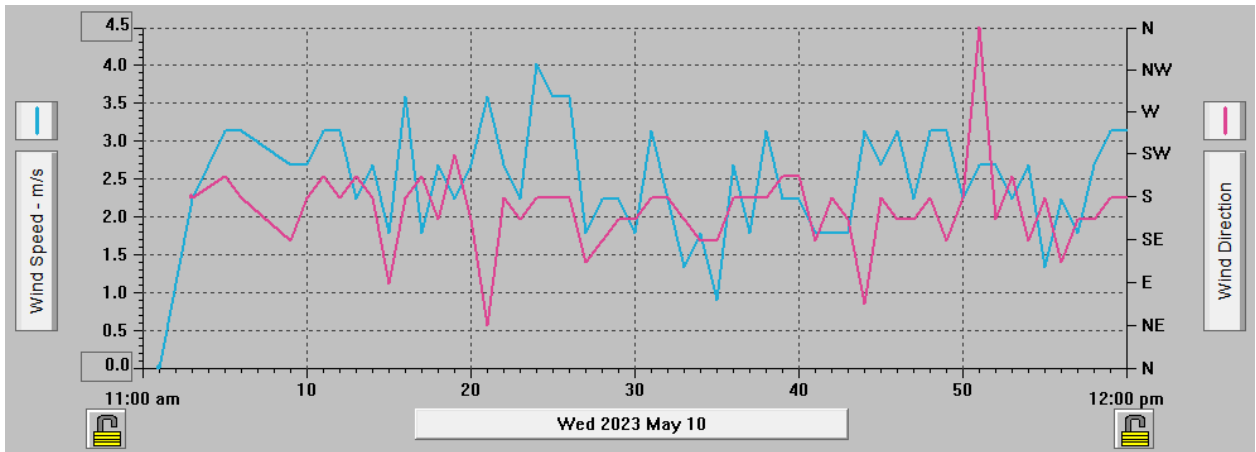
Figur B1.1a. Väderlek (SMHI data).



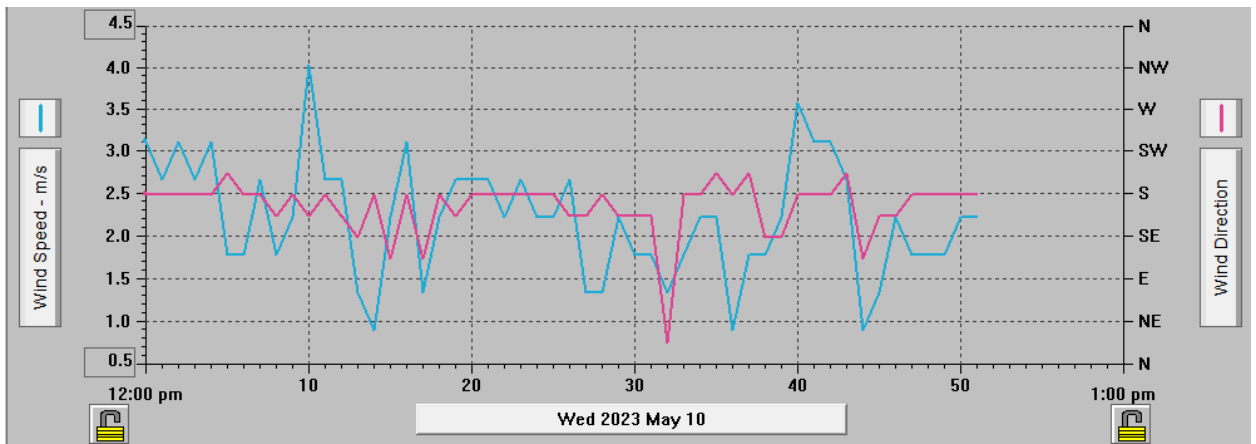
Figur B1.1b. Vindhastighet och vindriktning



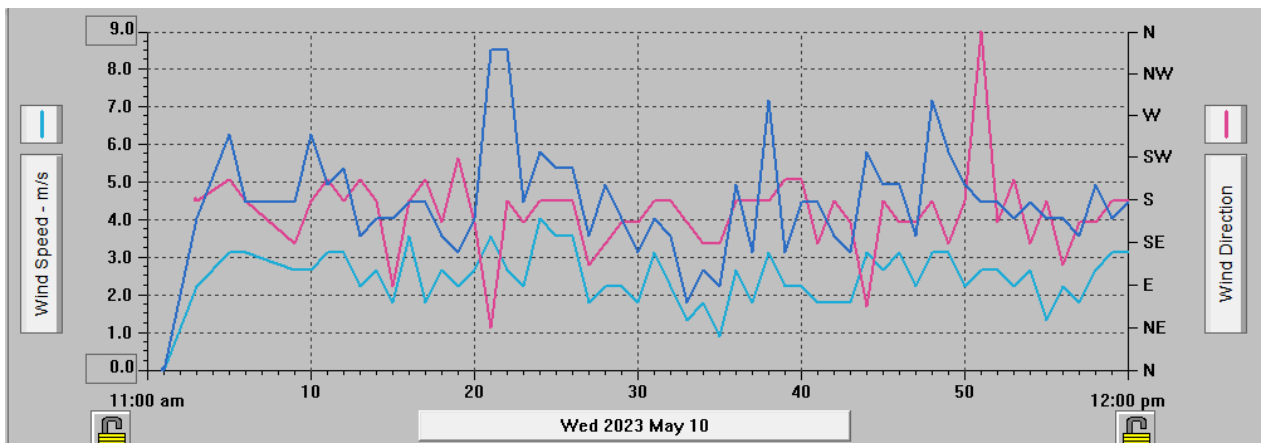
Figur B1.1c. Max vindhastighet och vindriktning



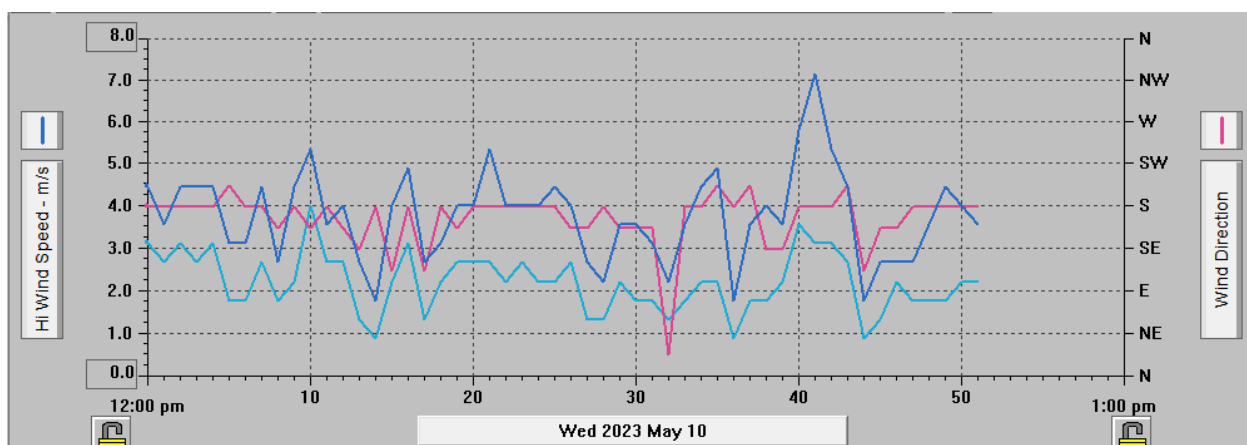
Figur B1.1d Medelvindhastighet samt vindriktning



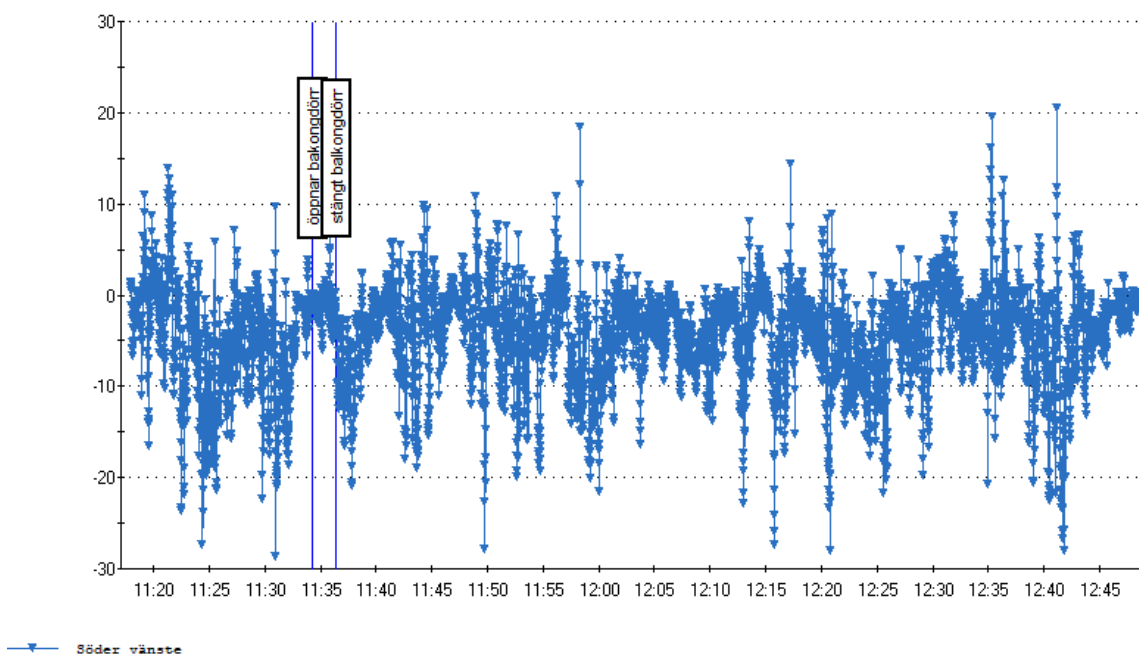
Figur B1.1e, Medelvindhastighet samt vindriktning



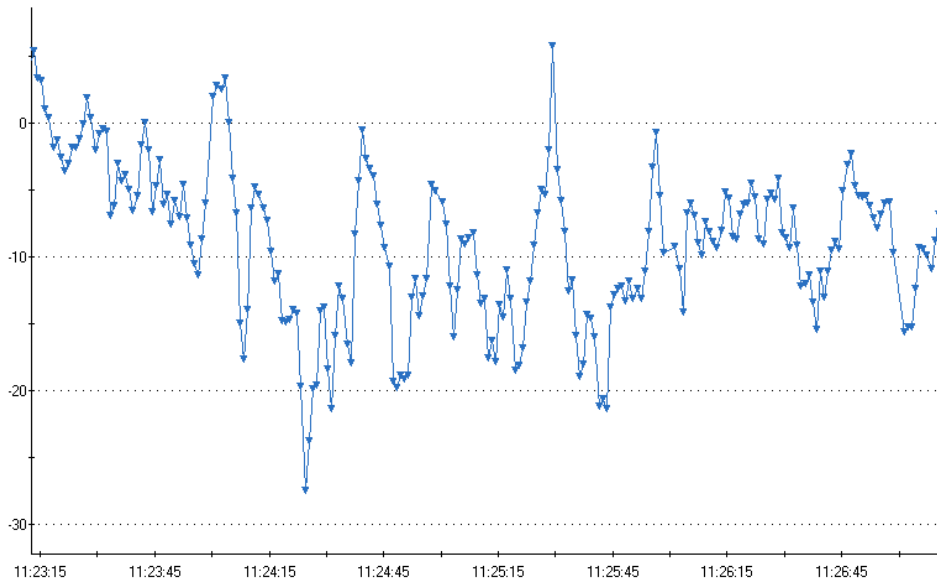
Figur B1.1f. (Jämförelse) Max- och medelvindhastighet samt vindriktning för medelhas-tighet



Figur B1.1g. (Jämförelse) Max- och medelvindhastighet samt vindriktning för medelhastighet

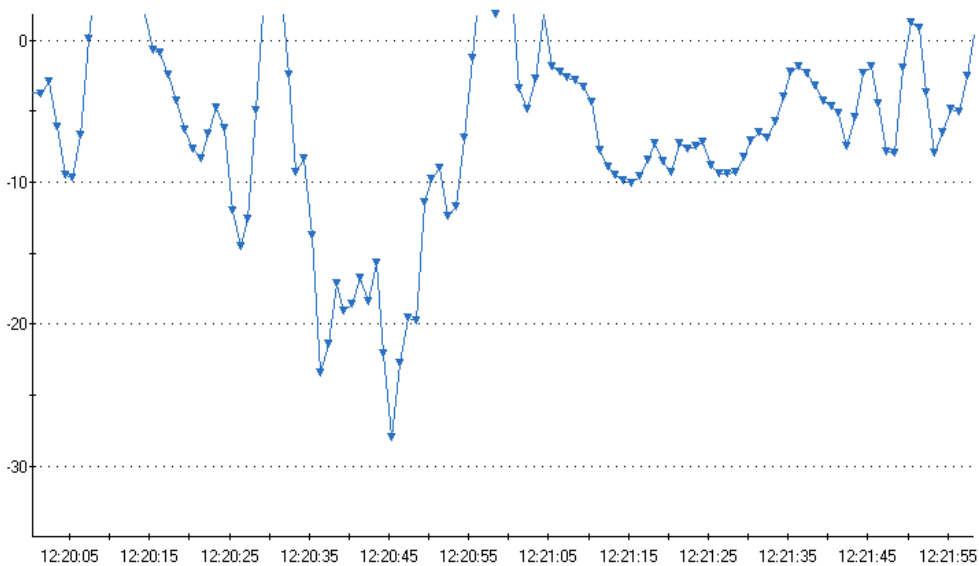


Figur B1.2a. Tryckskillnad i fasad söder (mät punkt 1.1), över fogtätning, via TDV rör, (plan 7) mot ute.



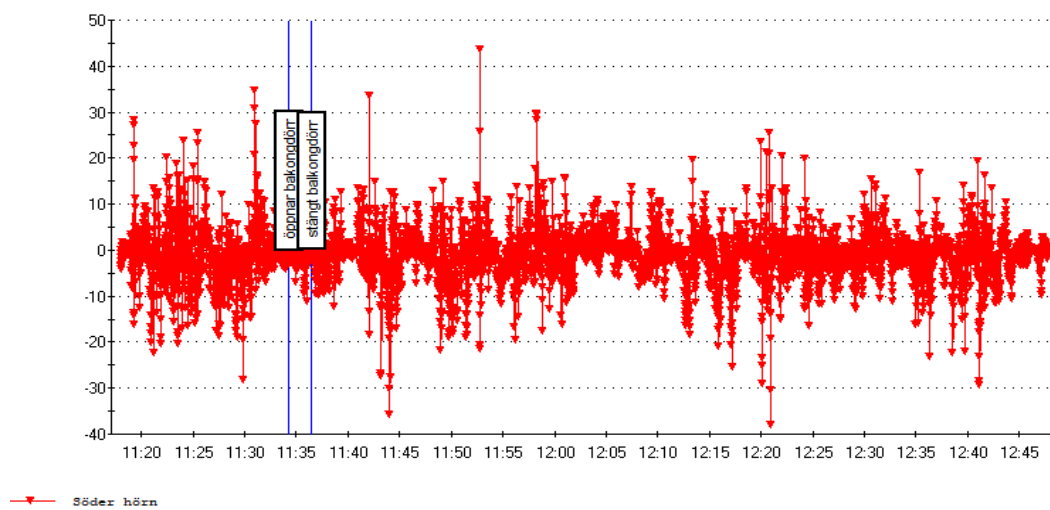
← Söder vänste

Figur B1.2b. Tryckskillnad i söderfasad (mät punkt 1.1), över fogtätning, via TDV rör, (plan 7) mot ute (under tidsintervallet 11:23:13 till 11:27:15)

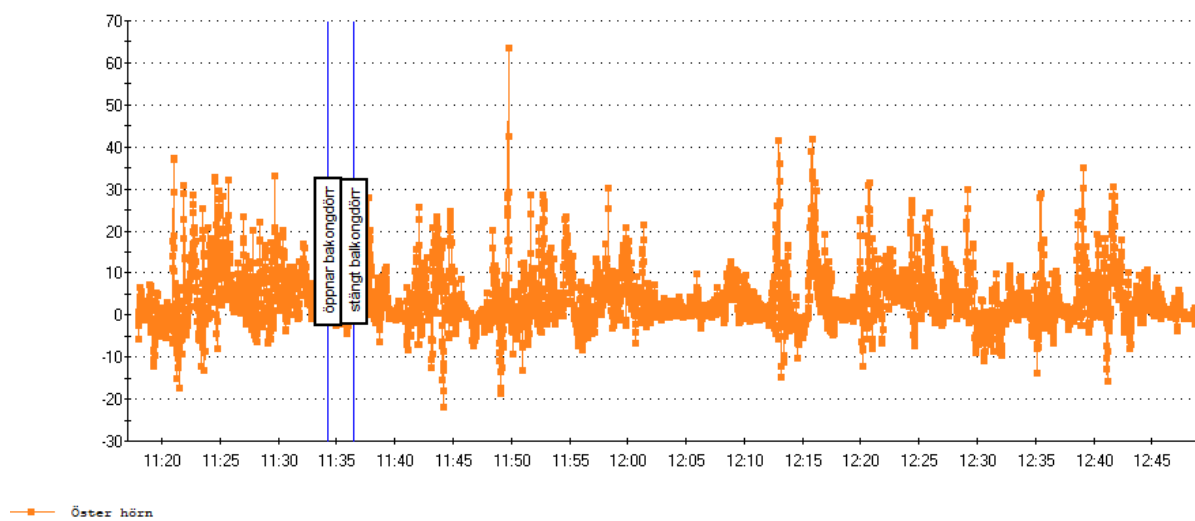


← Söder vänste

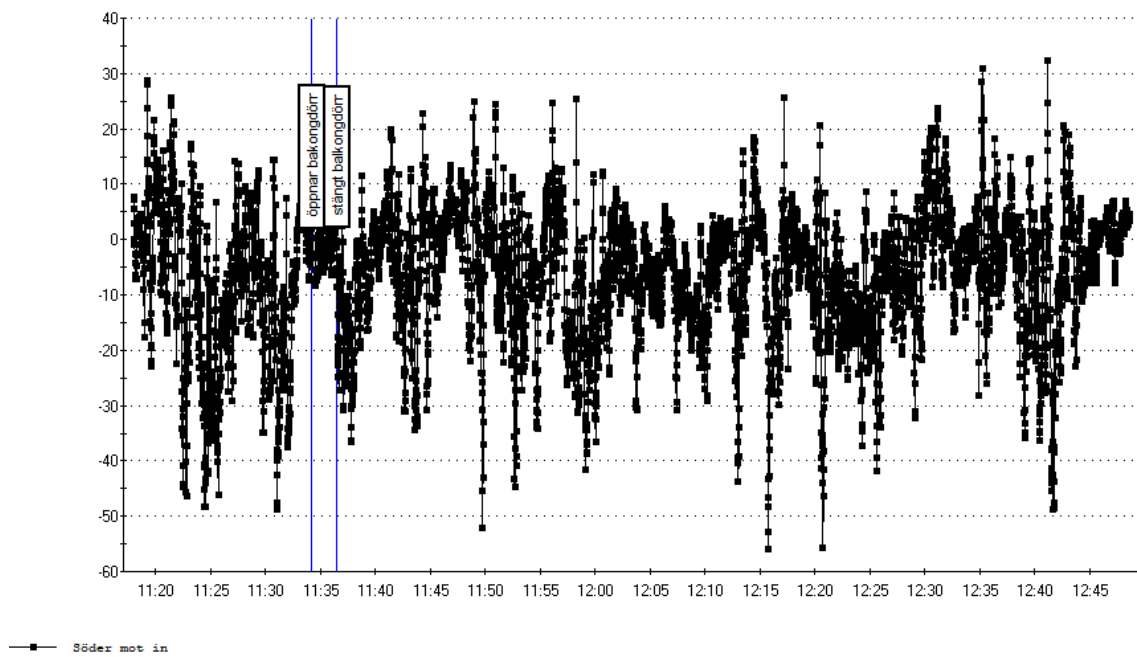
Figur B1.2c. Tryckskillnad i söderfasad (mät punkt 1.1), över fogtätning, via TDV rör, (plan 7) mot ute (under tidsintervallet 12:19:55 till 12:21:55)



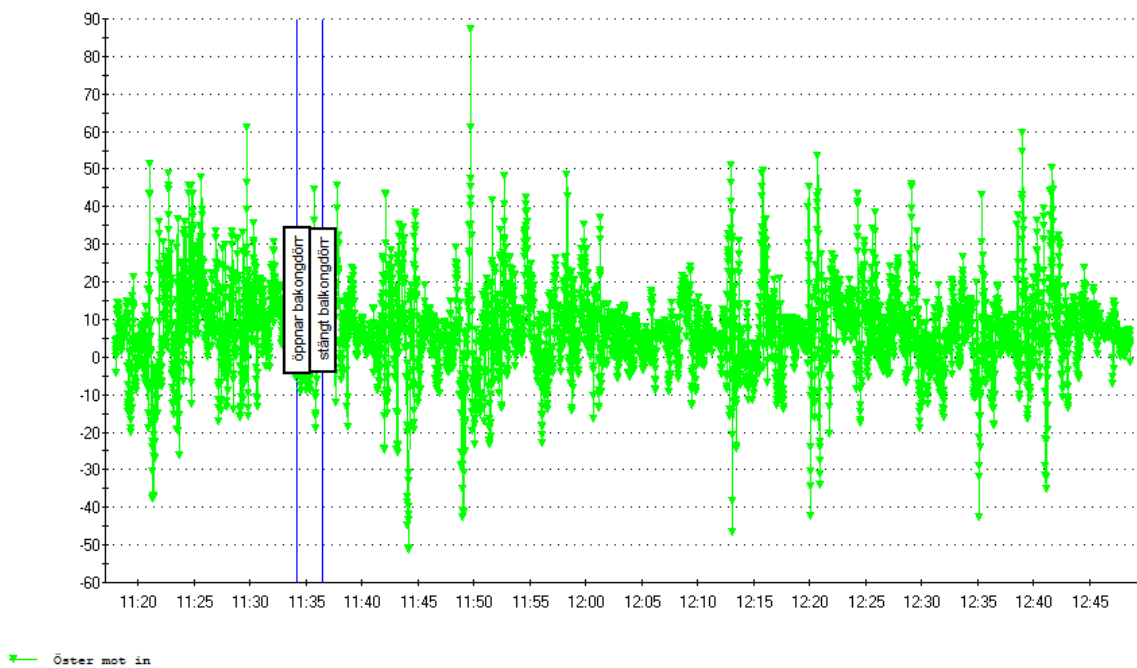
Figur B1.3. Tryckskillnad i söderfasad (mät punkt 1.2) mot ute, via TDV rör vid balkong, nära vägghörn åt öster, plan 7.



Figur B1.4. Tryckskillnad i östlig fasad (mät punkt 1.3), nära vägghörn åt söder, via TDV rör, (plan 7) mot ute.



Figur B1.5. Tryckskillnad inne mot ute (mät punkt 1.4), yttervägg åt söder (plan 7).



Figur B1.6. Tryckskillnad inne mot ute (mät punkt 1.4), yttervägg åt öster (plan 7).

Bilaga 2, byggnad 1B (Borås)

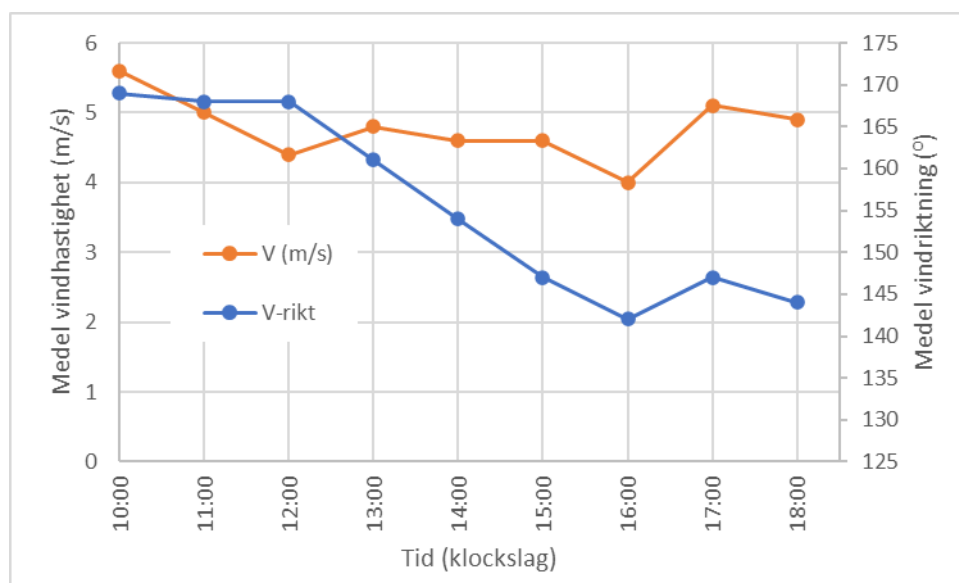
Mättillfälle 3 november 2022

 Idag 3 nov	11° 6°	 0,0 mm	 4 m/s ↖ 9 m/s	 07.26 16.17
--	------------------	---	---	---

Dygnet nederbörd räknas från tor 00.00 till tor 20.00.

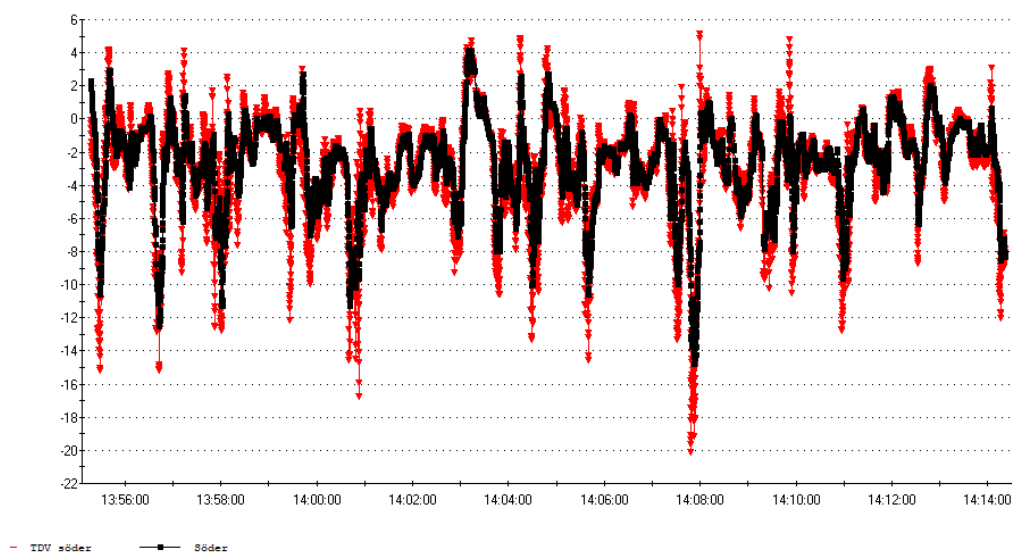
Tid	Väder	Nederbörd mm	Vind m/s (byvind)	Känns som °C	Luftfuktighet %	Lufttryck hPa	Sikt km
20		0,0	SO ↙ 4 (9)	6°	90	1008	20 - 50
19		0,0	SO ↙ 4 (8)	6°	89	1008	20 - 50
18		0,0	SO ↙ 4 (7)	6°	86	1009	20 - 50
17		0,0	SO ↙ 3 (7)	7°	85	1009	20 - 50
16		0,0	SO ↙ 4 (7)	8°	82	1009	20 - 50
15		0,0	SO ↙ 4 (8)	10°	80	1009	20 - 50
14		0,0	S ↑ 4 (8)	11°	79	1010	20 - 50
13		0,0	S ↑ 3 (7)	10°	81	1010	20 - 50
12		0,0	S ↑ 4 (10)	8°	85	1011	20 - 50
11		0,0	S ↑ 4 (10)	7°	87	1011	20 - 50
10		0,0	S ↑ 4 (8)	5°	89	1011	20 - 50
09		0,0	SO ↙ 5 (8)	4°	94	1011	10 - 20

Figur B2.1a. Väderlek (SMHI data).



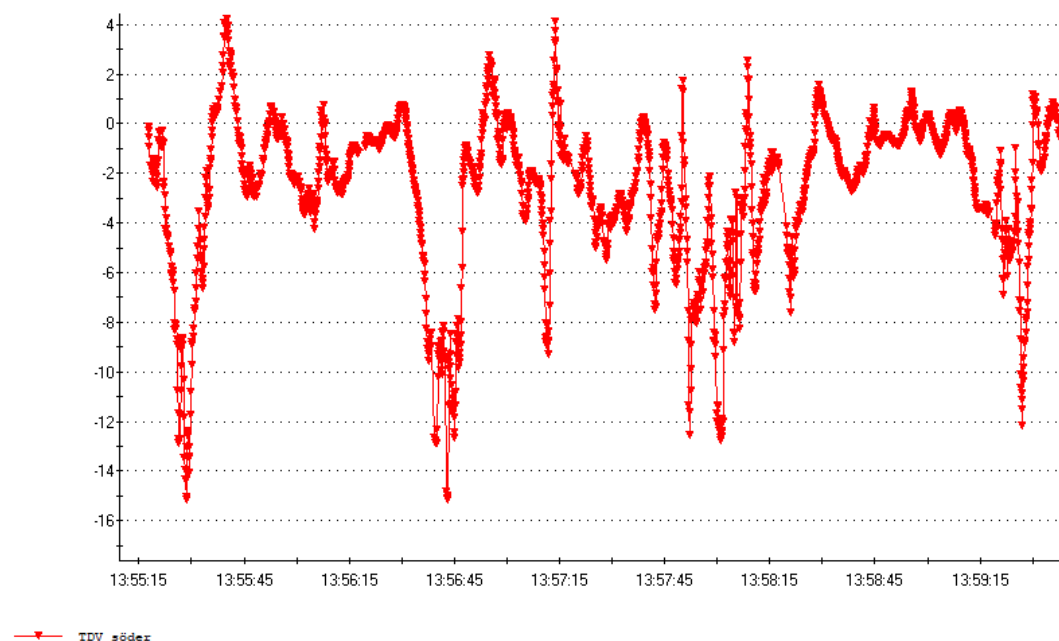
Figur B2.1b. Medel vindhastighet och medel vindriktning (timmedelvärde). Mätstation Rångedala (SMHI, 2023).

Mätintervall 0,1 sekund

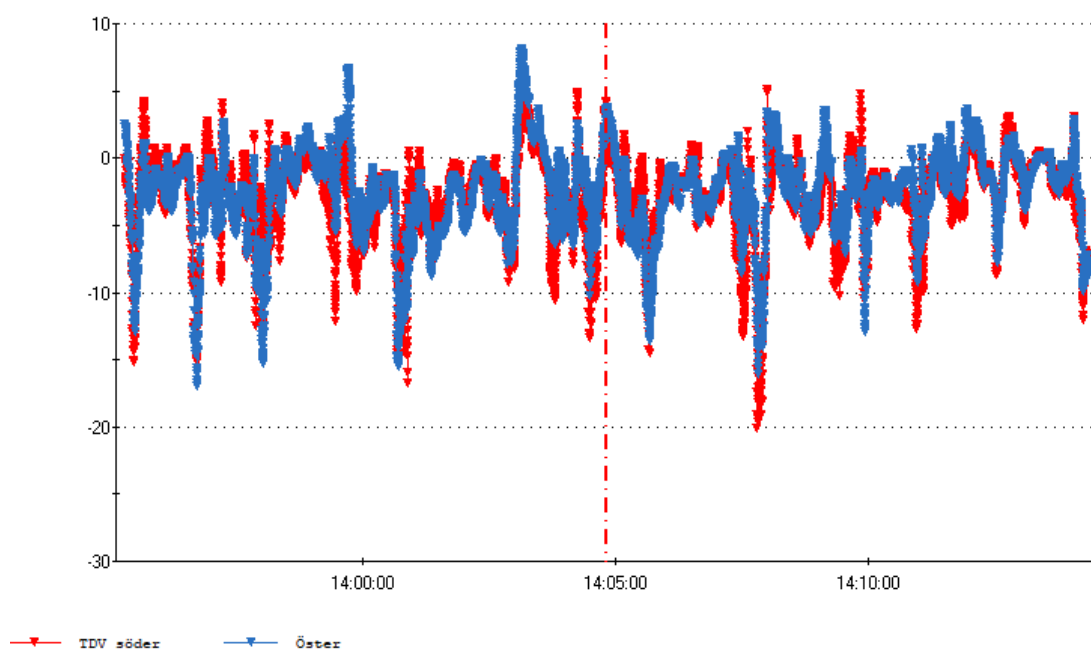


Figur B2.2a. (Jämförelse), tryckskillnad i fasad söder mot ute, över betongskiva (mät-punkt 1) ca 0,5 m från vertikal och horisontell fog, och tryckskillnad över fog (mät-punkt 2) via TDV-rör (plan 7).

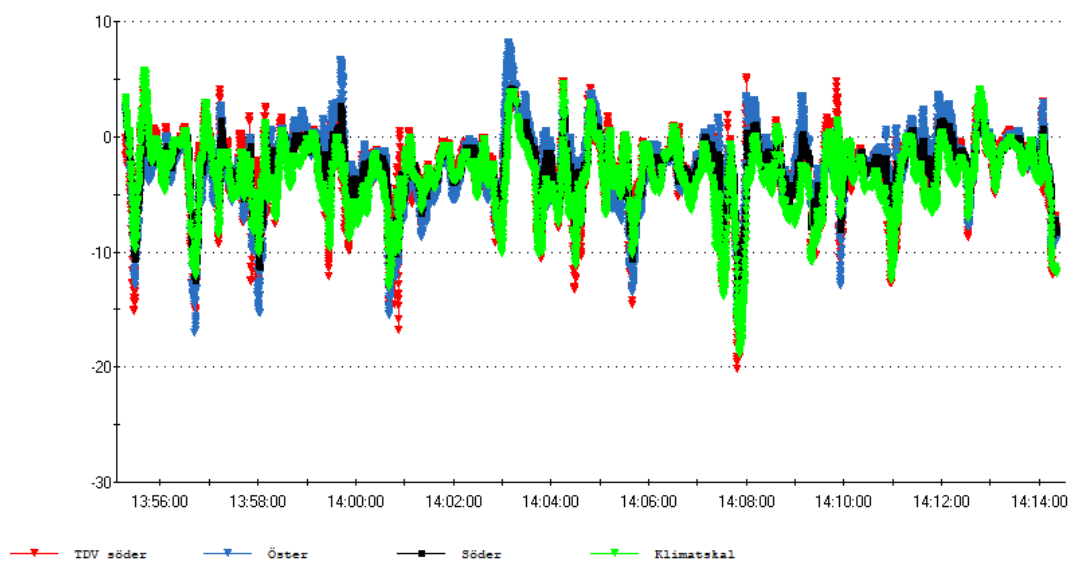
Tryckskillnad under tidsintervall:14.00.52-14.00.53 visar max 16,8 Pa, min 10,8 Pa me-del 13,3. Under tidsintervall 14.07.48-14.07.49 visar max 20,2 Pa, min=10,8, medel 16,6. Det förefaller skilja ungefär 20% mellan medelvärde under 1 sekund och max-värde med mätintervall 0,1 sekund.



Figur B2.2b. Tryckskillnad i söderfasad (mät-punkt 1B.2) mot ute, över fog via TDV-rör nära vägghörn (plan 7). Under tidsintervallet 13:55:10 till 13:59:45.

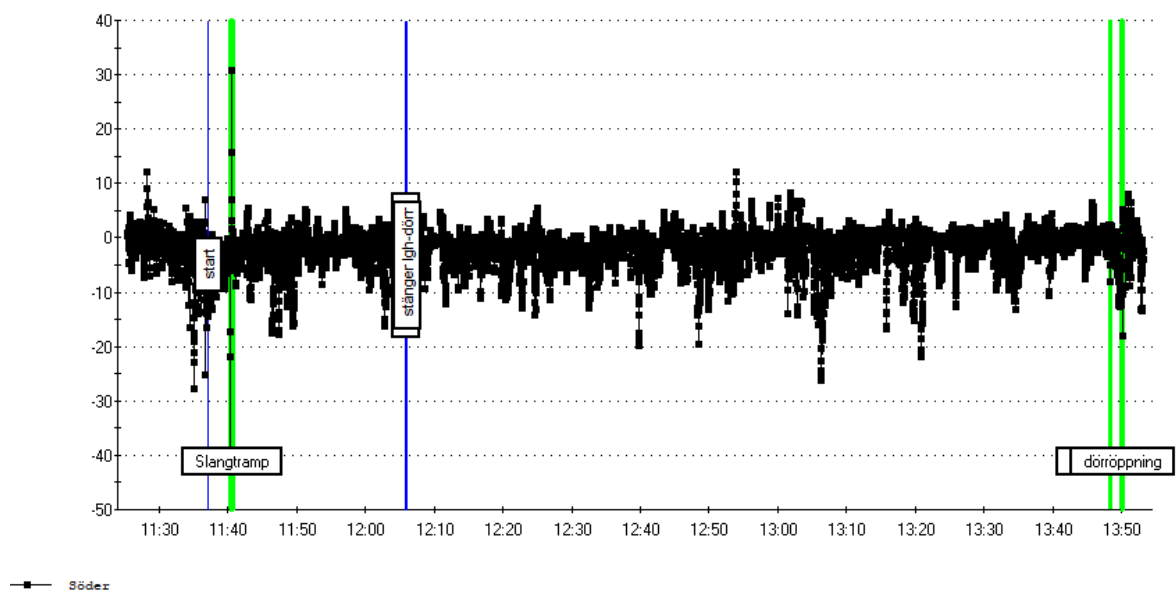


Figur B2.3 (Jämförelse), tryckskillnad i österfasad mot ute, över betongskiva (mätpunkt 3) ca 0,5 m från vertikal och horisontell fog nära hushörn mot söder, och tryckskillnad i söderfasad (mätpunkt 2) via TDV-rör via balkong och hushörn mot söder (plan 7).

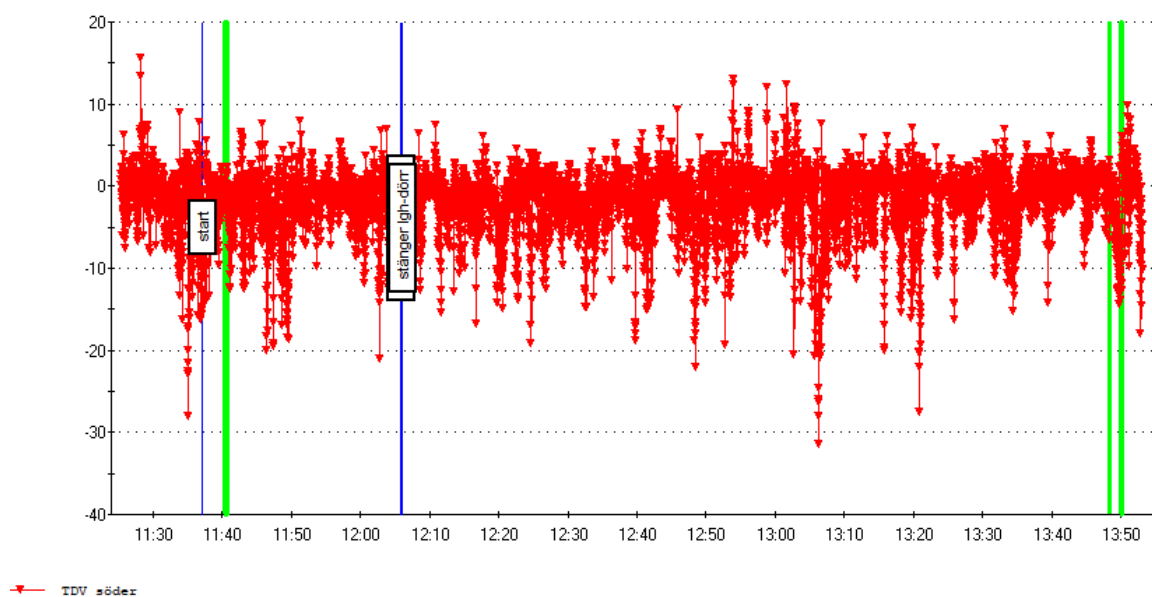


Figur B2.4. (Jämförelse) tryckskillnad för samtliga mätpunkter (1-4).

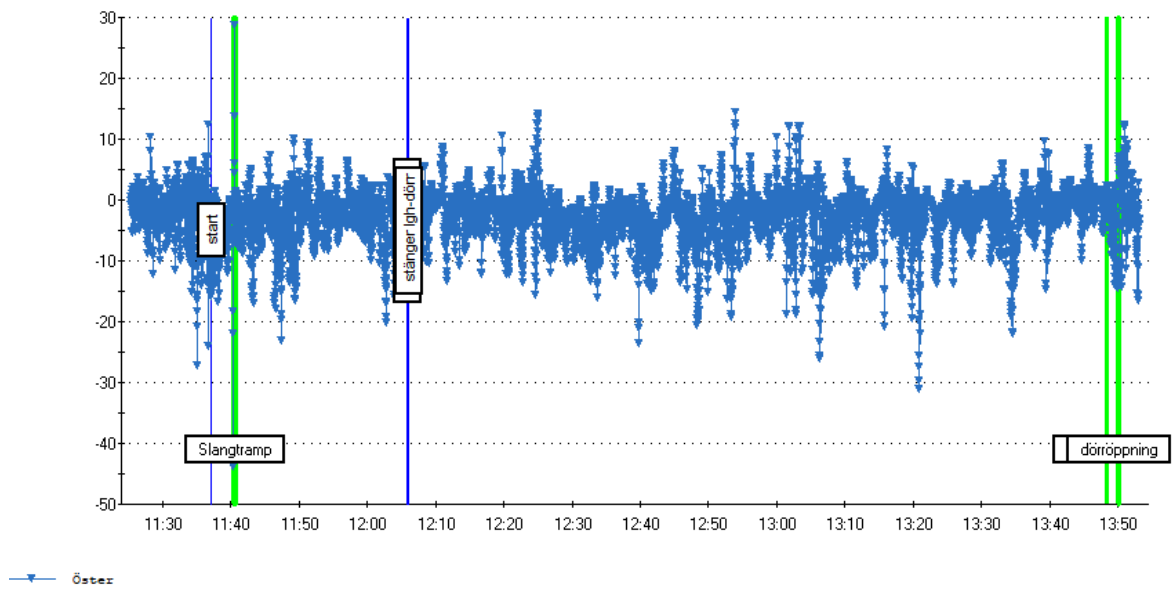
Mätintervall 1 sekund



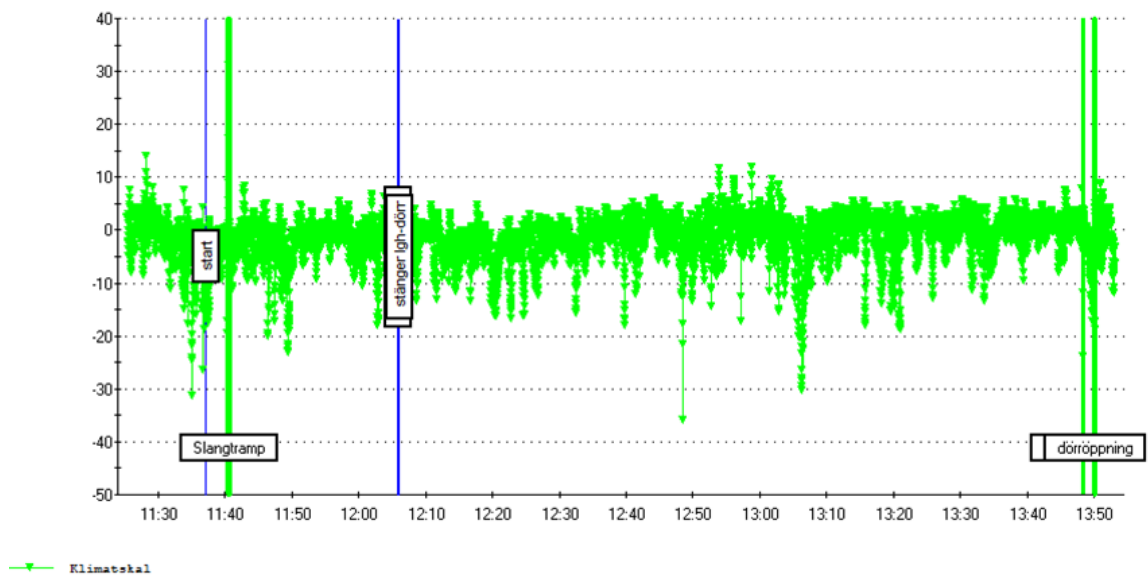
Figur B2.5 Tryckskillnad i söderfasad (mät punkt 1), plan 7, mot ute, över betongskiva ca 0,5 m från vertikal och horisontell fog.



Figur B2.6 Tryckskillnad i söderfasad (mät punkt 2), plan 7, mot ute, över fogtätning via TDV-rör vid balkong, nära vägghörn åt öster.



Figur B2.7 Tryckskillnad i österfasad (mät punkt 3), plan 7, mot ute, över betongskiva ca 0,5 m från vertikal och horisontell fog.



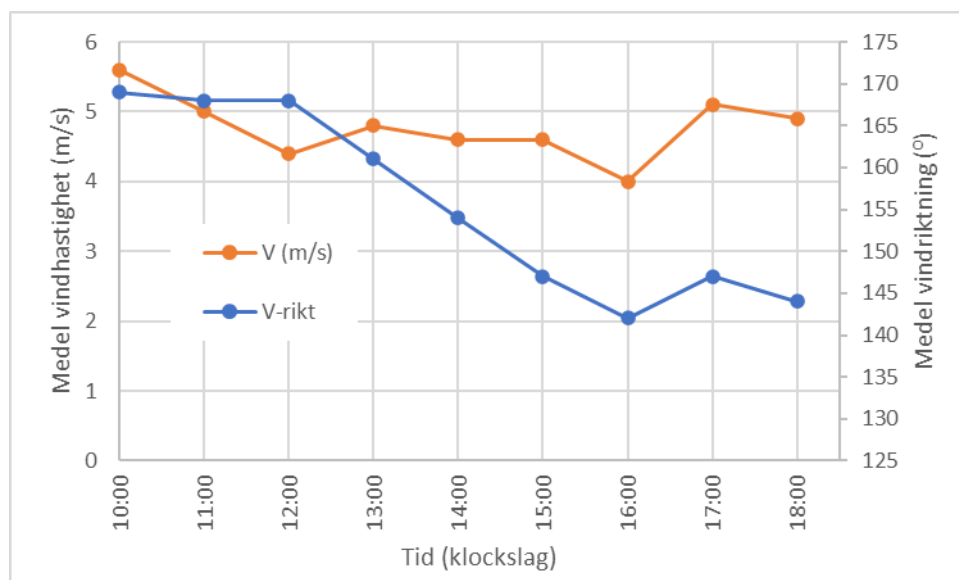
Figur B2.8. Tryckskillnad inne (mät punkt 4) mot ute, yttervägg åt söder (klimatskal).

Bilaga 3, byggnad 1C (Borås)

Mättillfälle 3 november 2022

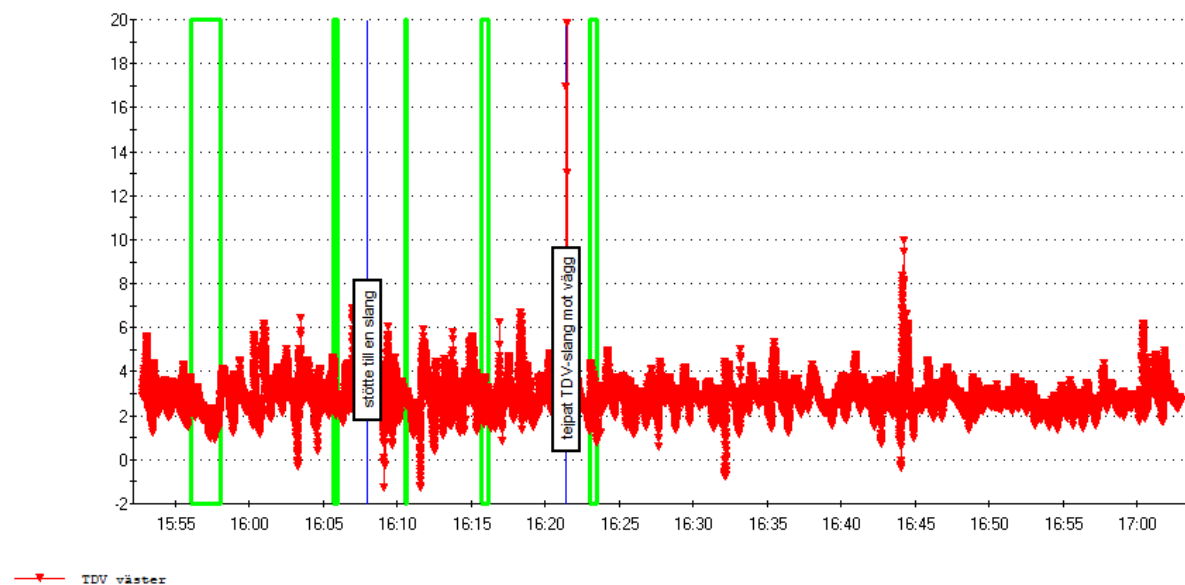
18		9°	0,0	SO		4 (7)	6°	86	1009	20 - 50
17		9°	0,0	SO		3 (7)	7°	85	1009	20 - 50
16		10°	0,0	SO		4 (7)	8°	82	1009	20 - 50
15		10°	0,0	SO		4 (8)	10°	80	1009	20 - 50
14		11°	0,0	S		4 (8)	11°	79	1010	20 - 50
13		10°	0,0	S		3 (7)	10°	81	1010	20 - 50
12		10°	0,0	S		4 (10)	8°	85	1011	20 - 50
11		9°	0,0	S		4 (10)	7°	87	1011	20 - 50
10		8°	0,0	S		4 (8)	5°	89	1011	20 - 50

Figur B3.1a. Väderlek (SMHI data).

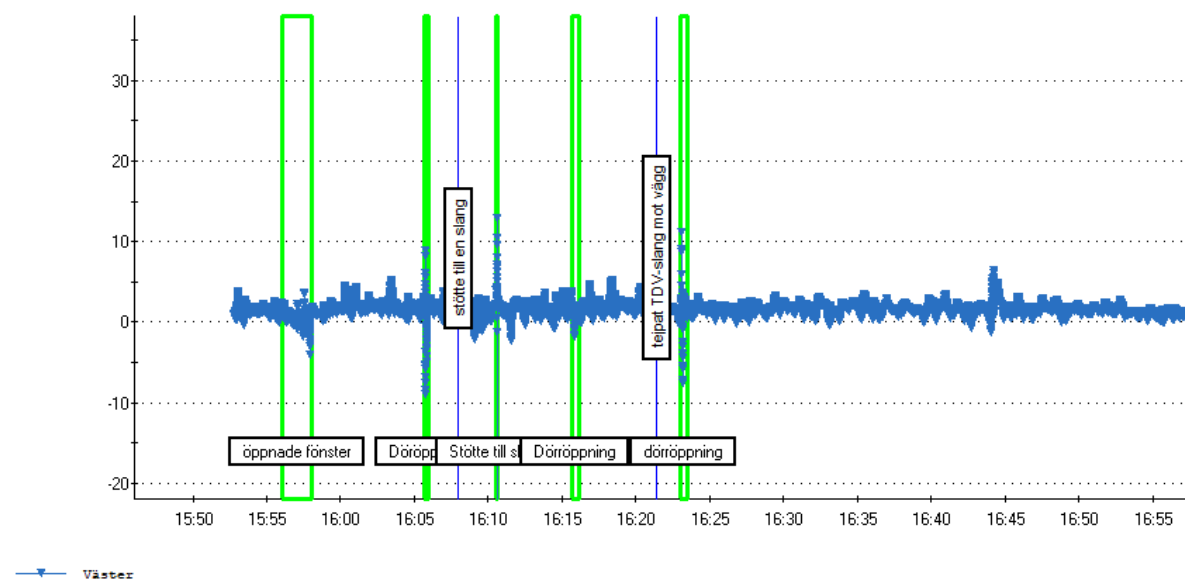


Figur B3.1b. Medel vindhastighet och medel vindriktning (timmedelvärde).

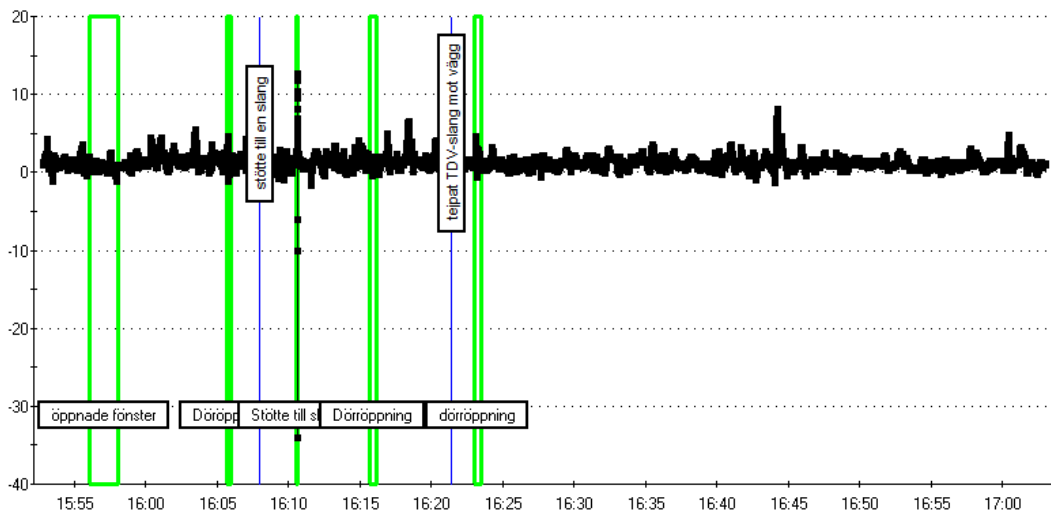
Mätintervall 0,1 sekund



Figur B3.2. Tryckskillnad i fasad väster (plan 1, markplan) mot ute, över fogtätning via TDV-rör vid balkong, nära vägghörn åt norr.

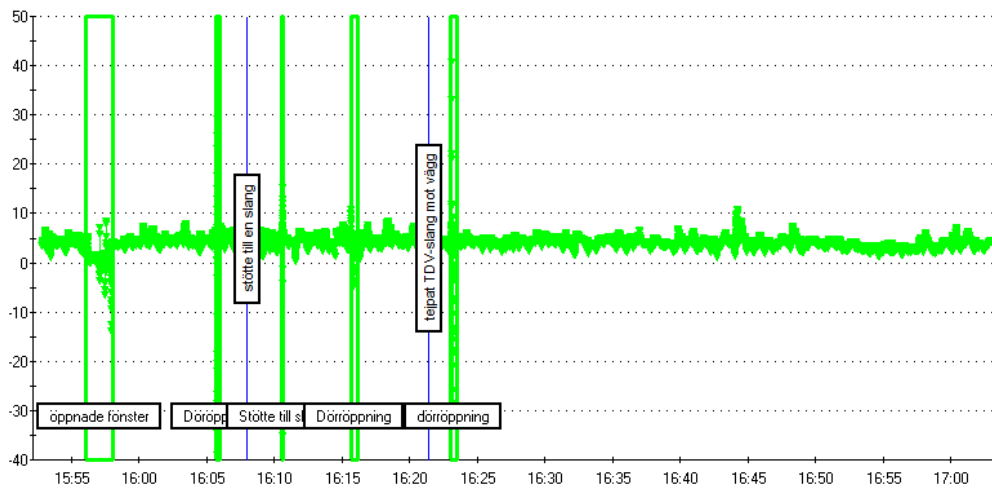


Figur B3.3. Tryckskillnad i fasad väster (plan 1) mot ute, över betongskiva.



—■ Nozz

Figur B3.4. Tryckskillnad i norrfasad (plan 1) mot ute (väster), över betongskiva. Observera att detta är en svårtolkad mätning eftersom referensen är placerad ute vid fasad åt väster.



—■ Klimatokal

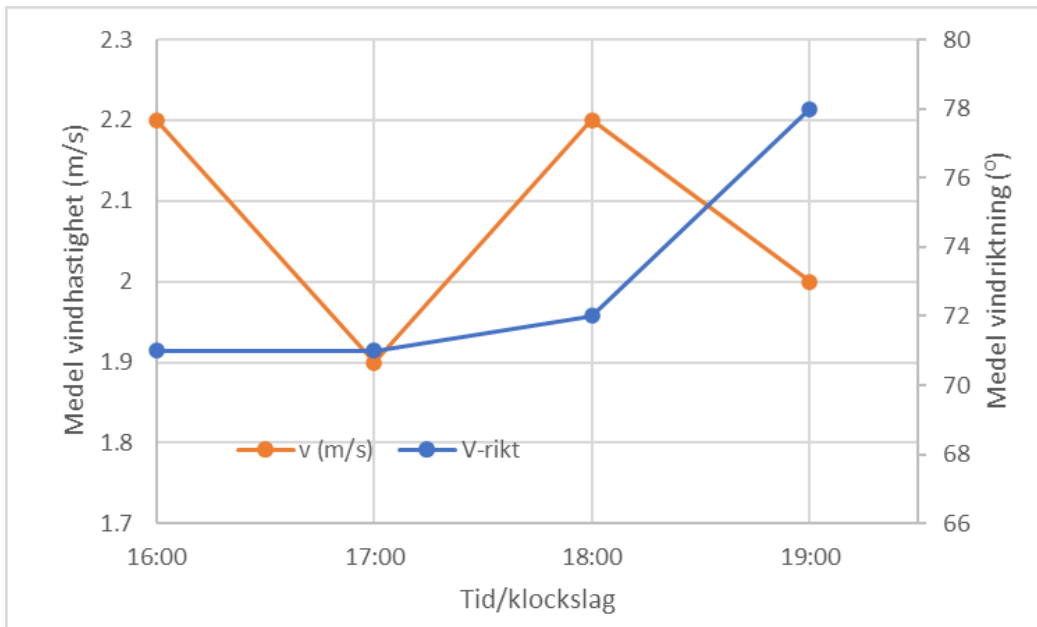
Figur B3.5. Tryckskillnad inne (plan 1) mot ute (väster).

Bilaga 4, byggnad 2 (Kungälv)

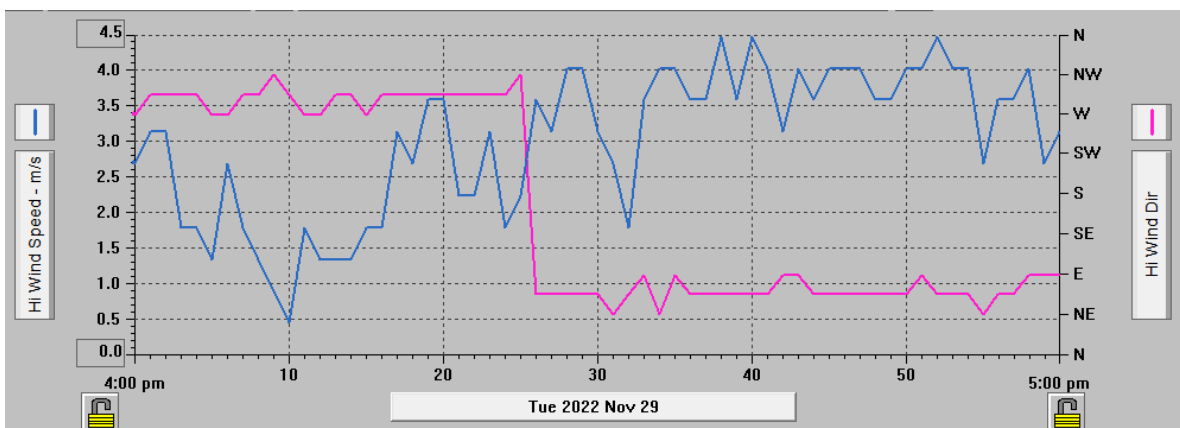
Mättillfälle 29 november 2022

20		4°	0,0	O ←	2 (4)	2°	85	1028	20 - 50
19		4°	0,0	O ←	2 (3)	2°	86	1027	20 - 50
18		4°	0,0	NO ↙	2 (4)	2°	87	1027	20 - 50
17		4°	0,0	NO ↙	3 (4)	2°	87	1027	20 - 50
16		5°	0,0	NO ↙	3 (4)	2°	87	1026	20 - 50
15		5°	0,0	O ←	2 (3)	3°	81	1026	20 - 50
14		5°	0,0	O ←	2 (4)	3°	85	1026	20 - 50

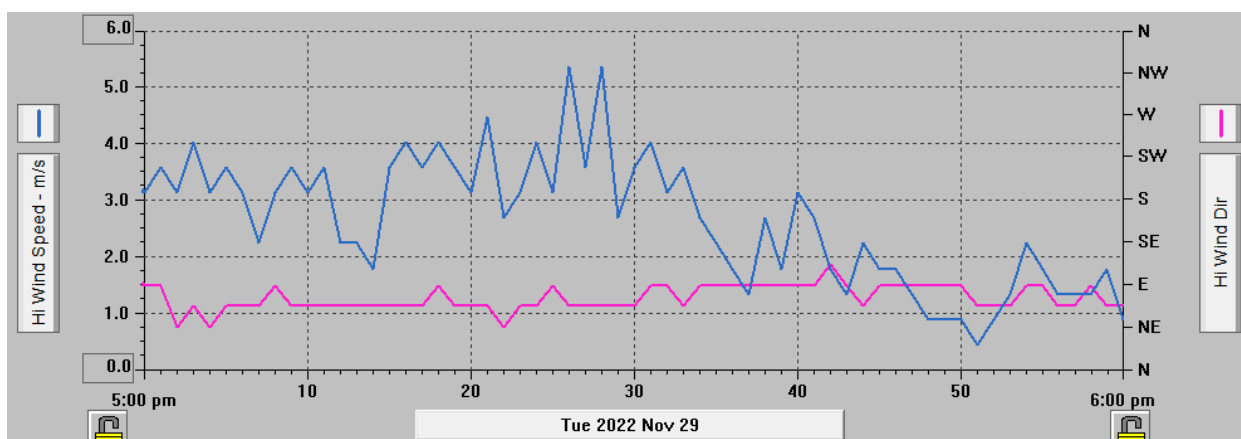
Figur B4.1a1. Väderlek (SMHI).



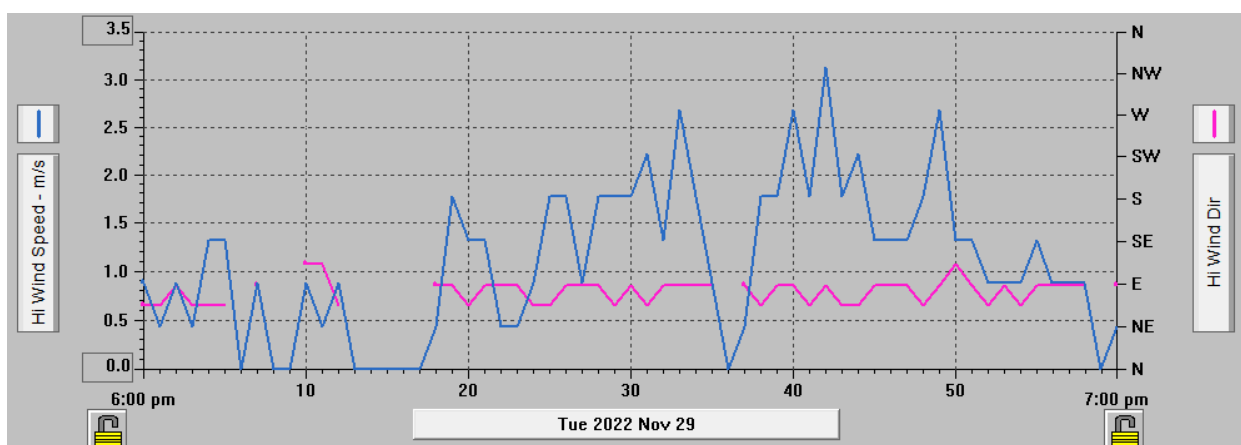
Figur B4.1a2. Medel vindhastighet och vindriktning (timmedelvärde), (SMHI, 2023).



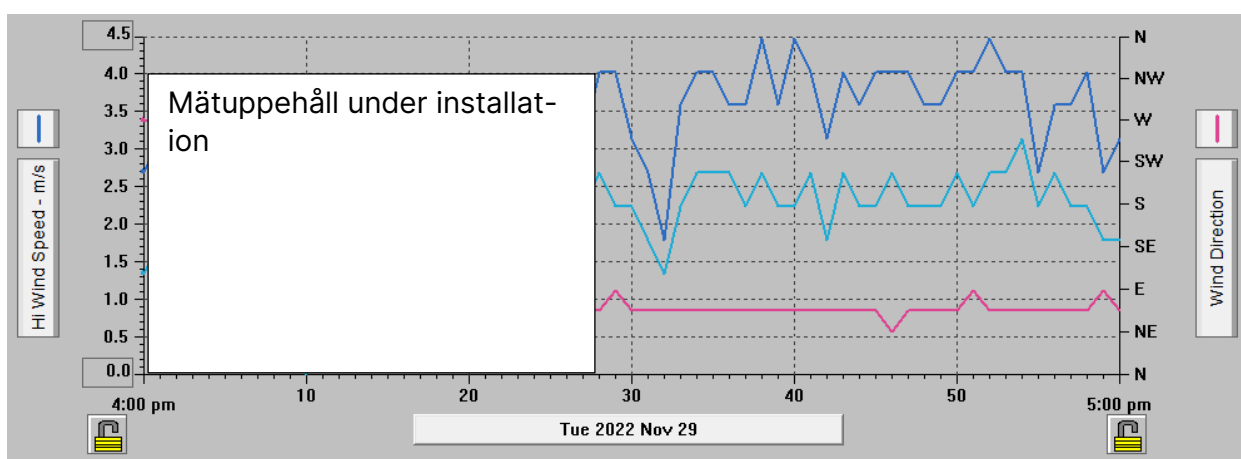
Figur B4.1b. Max vindhastighet och vindriktning.



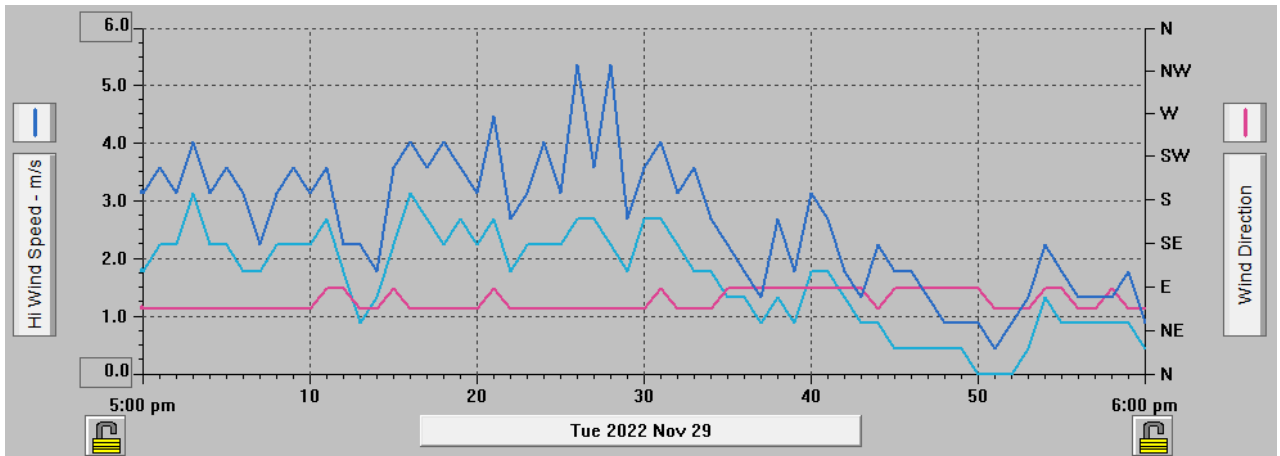
Figur B4.1c. Max vindhastighet och vindriktning.



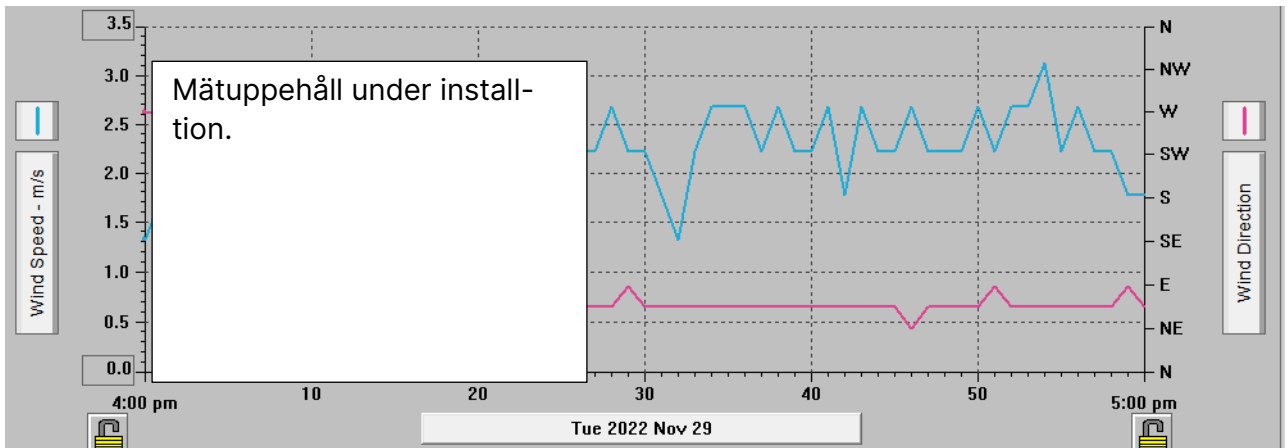
Figur B4.1d. Max vindhastighet och vindriktning.



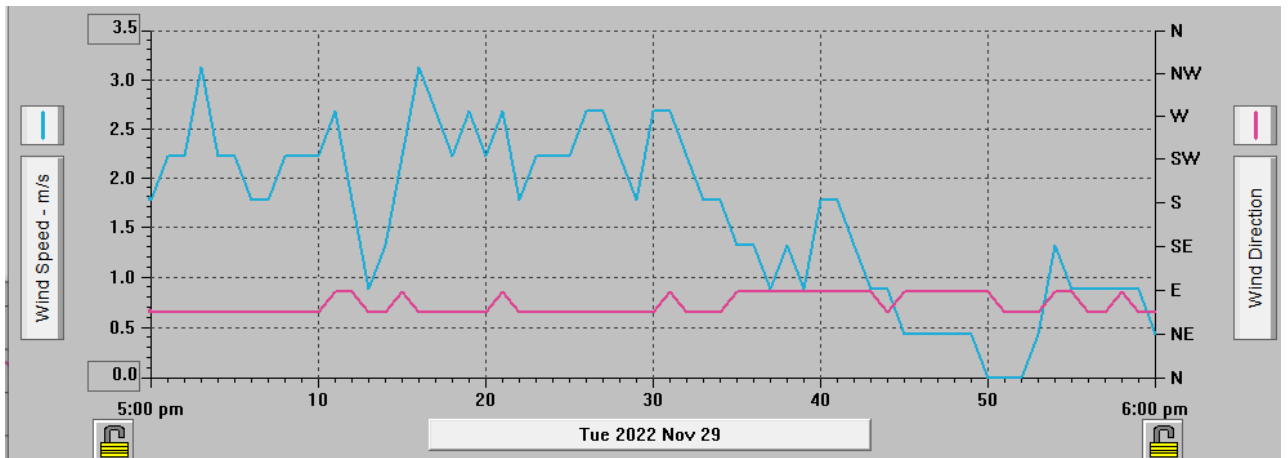
Figur B4.1e. (Jämförelse) Max- och medelhastighet samt vindriktning för medelhastighet.



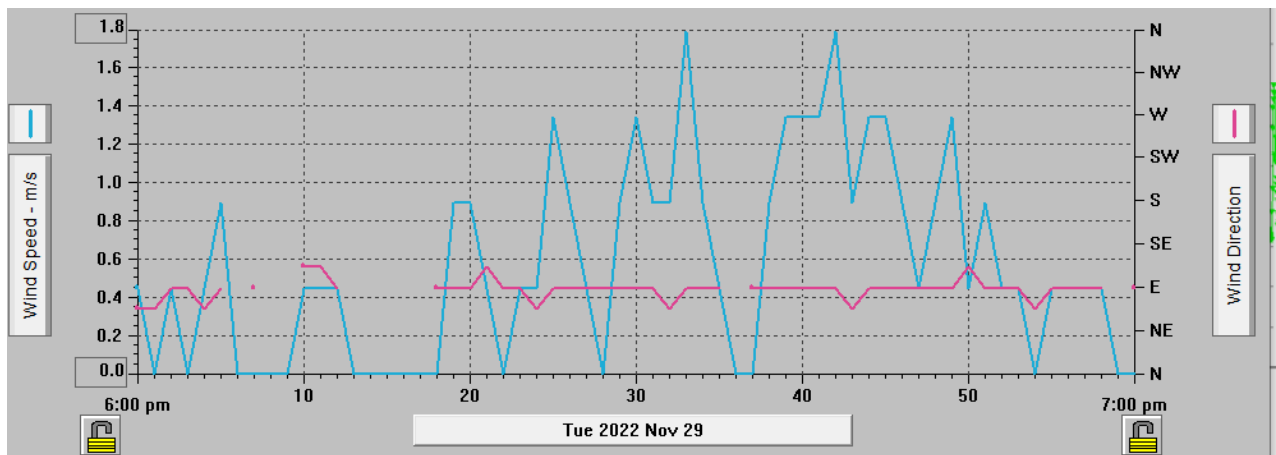
Figur B4.1f. (Jämförelse) Max- och medelhastighet samt vindriktning för medelhastighet.



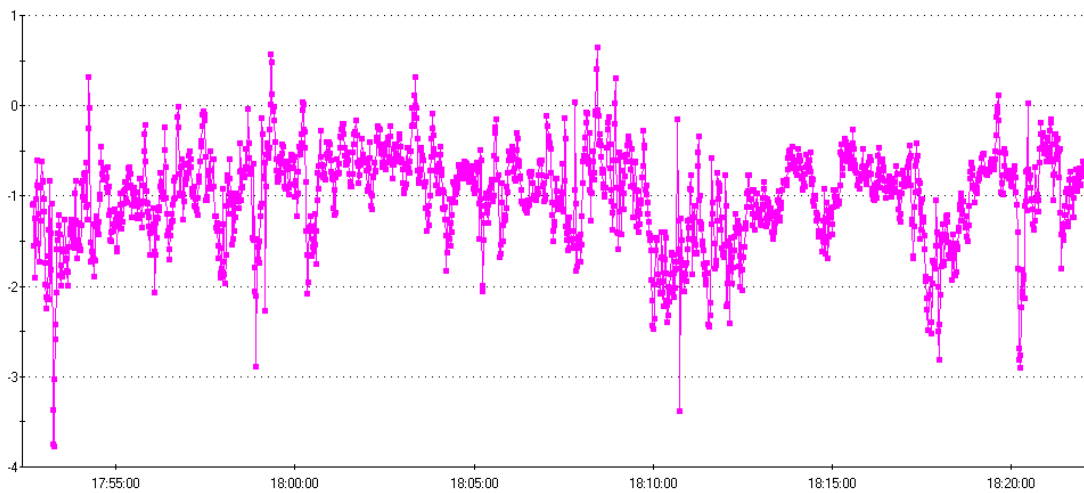
Figur B4.1g. Medelhastighet och vindriktning.



Figur B4.1h. Medelhastighet och vindriktning

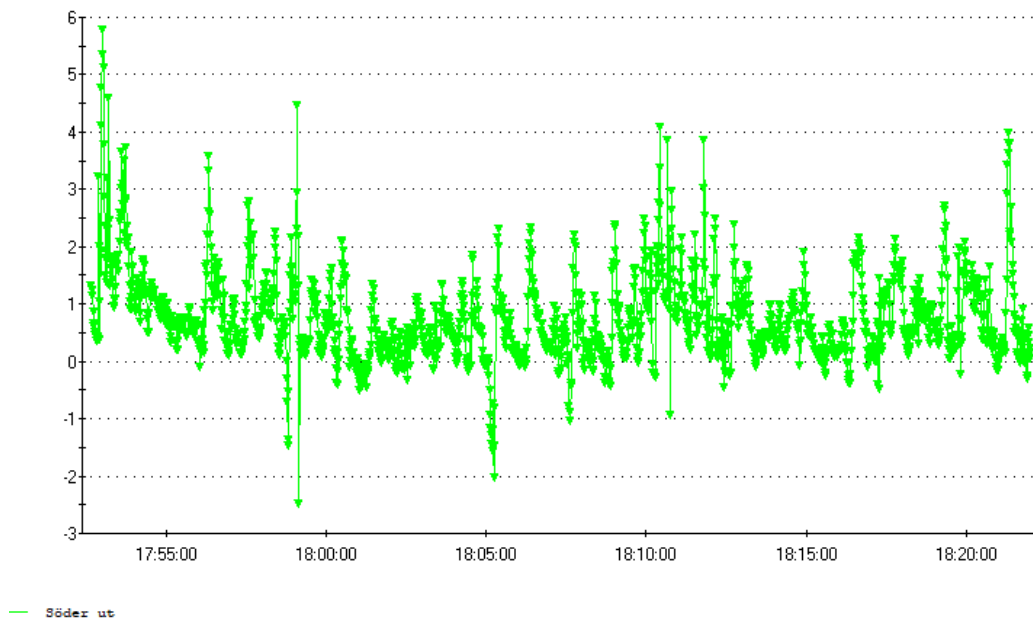


Figur B4.1l. Medelhastighet och vindriktning.

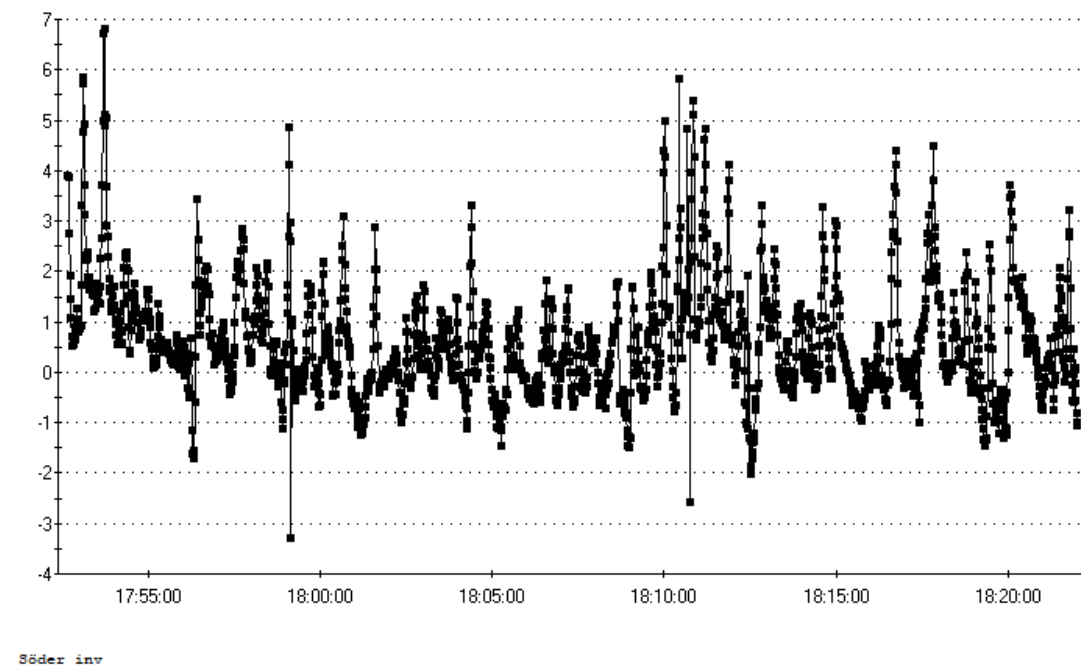


ez ut

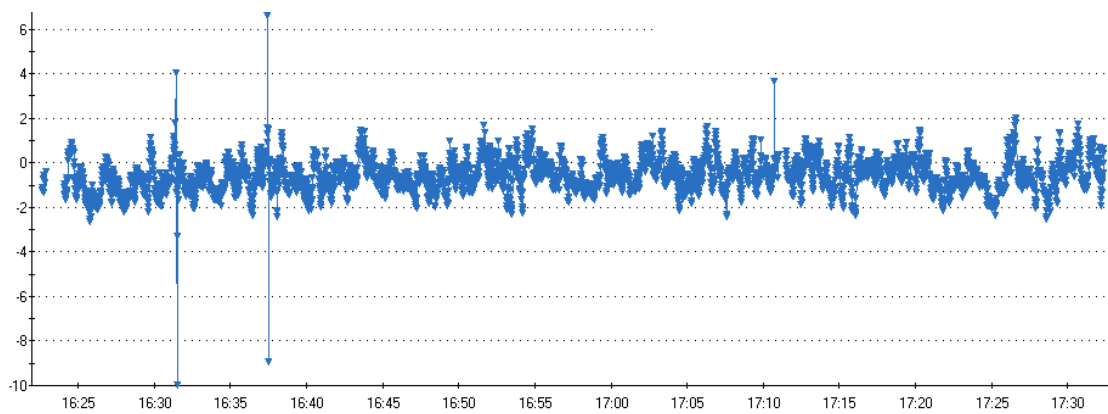
Figur B4.2. Tryckskillnad i österfasad (mätp. 2.1), plan 2, över fog via TDV-öppning nära hushörn, mot ute.



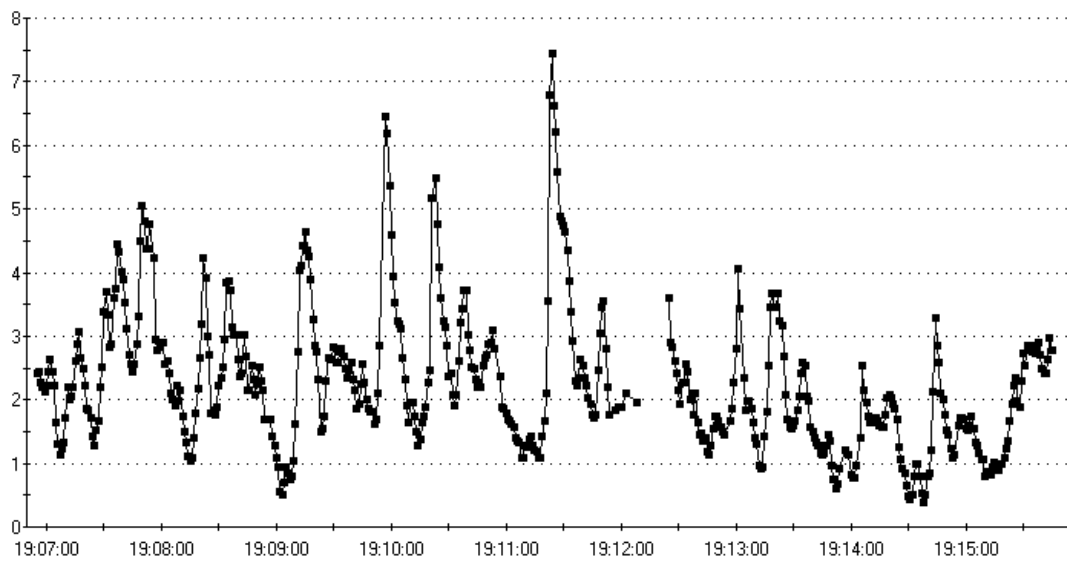
Figur B4.3. Tryckskillnad i söderfasad (mätpunkt 2.2), över fogtätning, plan 2, mot ute.



Figur B4.4. Tryckskillnad i söderfasad (mätpunkt 2.3), över betongskiva ca 0,5 m från horisontell fog, plan 2, mot ute.

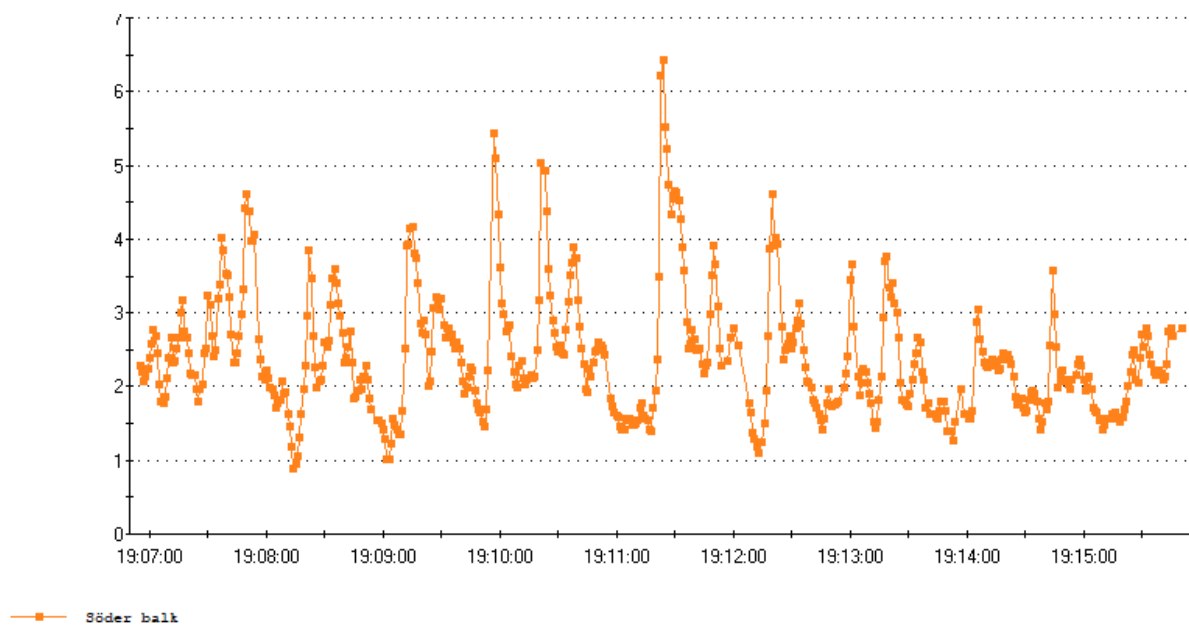


Figur B4.5. Tryckskillnad i trapphus (mät punkt 2.6), plan 2, mot ute.

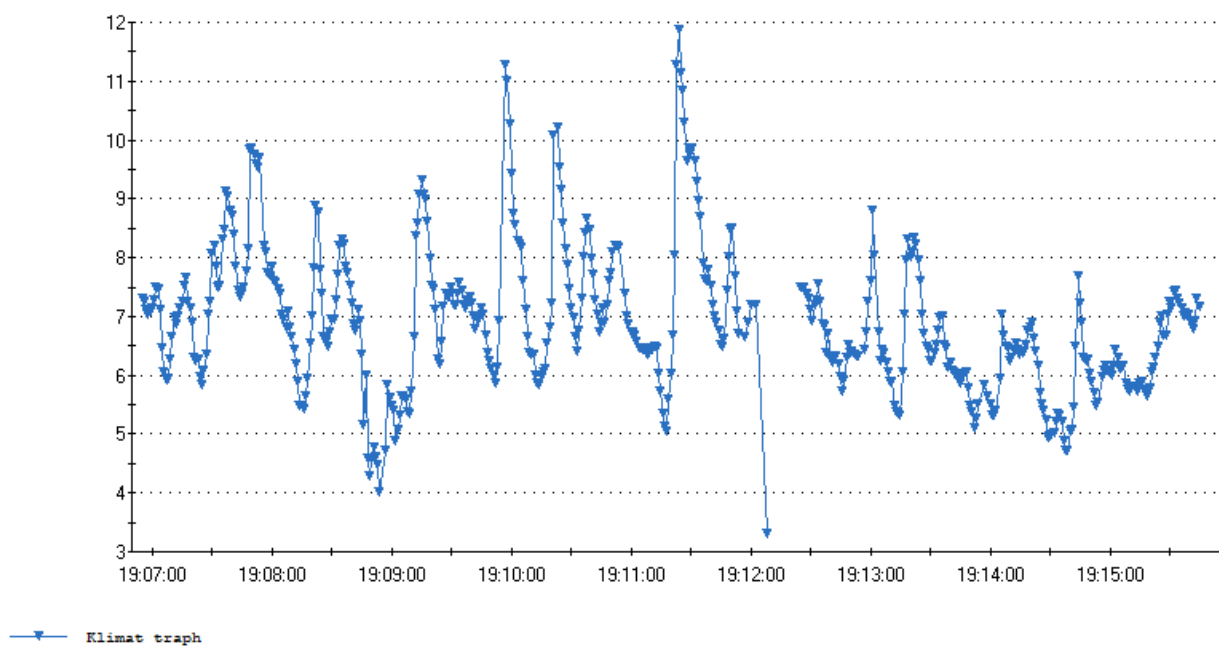


- Söder inv

Figur B4.6. Tryckskillnad i söderfasad (mät punkt 2.7), över betongskiva ca 0,5 m från horisontell fog, (plan 5) mot ute.



Figur B4.7. Tryckskillnad i söderfasad (mät punkt 2.8), över fogtätning, nära vägghörn mot väster, (plan 5) mot ute.

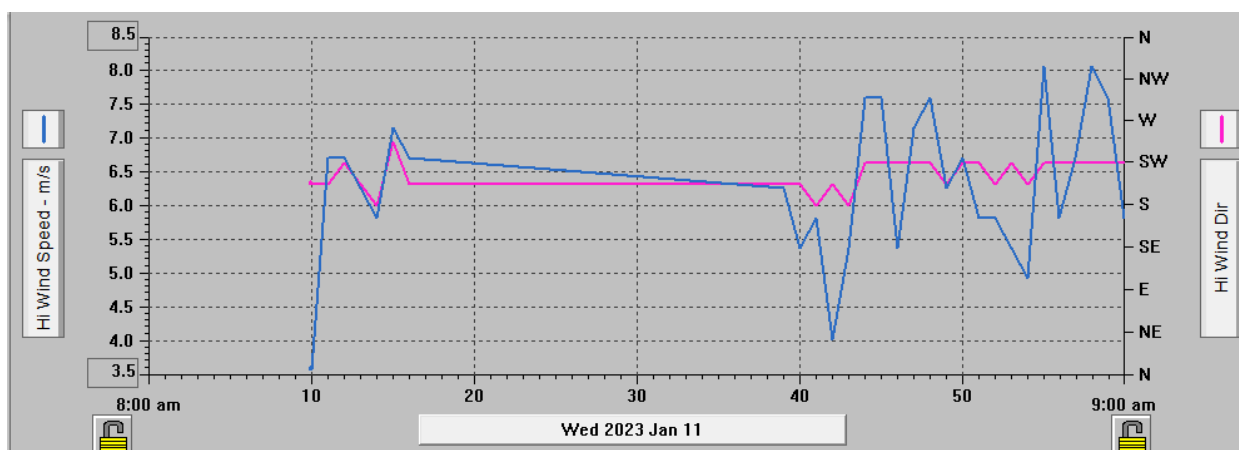


Figur B4.8. Tryckskillnad i trapphus (mät punkt 2.9), plan 5, mot ute (söder).

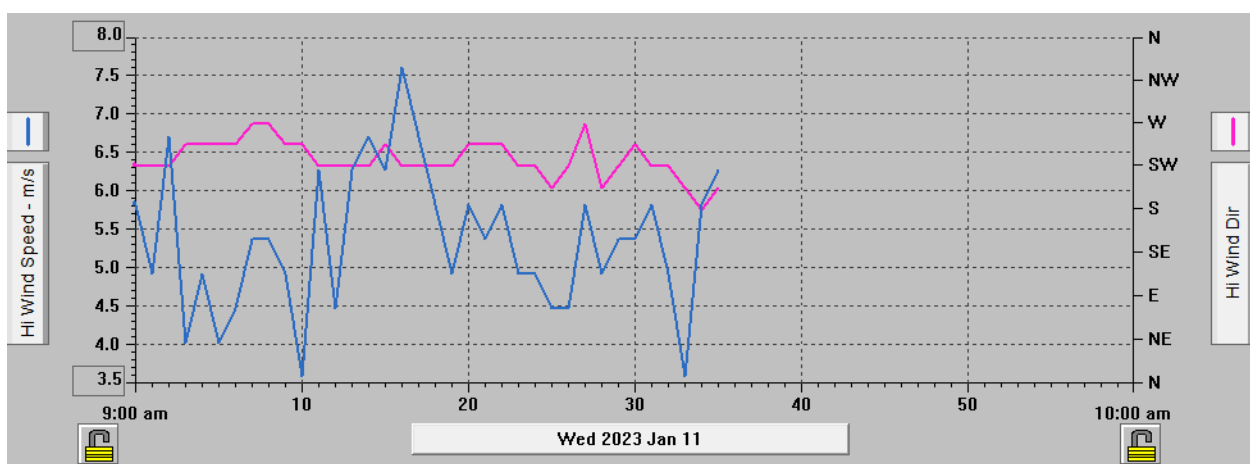
Mättilfälle 11 januari 2023

11		8°	0,0	SV ↗	7 (10)	4°	89	997	5 - 10
10		8°	0,0	SV ↗	7 (10)	4°	92	996	10 - 20
09		7°	0,0	SV ↗	7 (12)	3°	95	995	5 - 10
08		6°	0,5	S ↑	9 (16)	2°	95	994	5 - 10
07		6°	0,9	S ↑	10 (17)	0°	93	994	5 - 10
06		5°	1,4	S ↑	10 (17)	0°	91	994	5 - 10
05		5°	2,0	S ↑	10 (16)	-1°	90	995	5 - 10

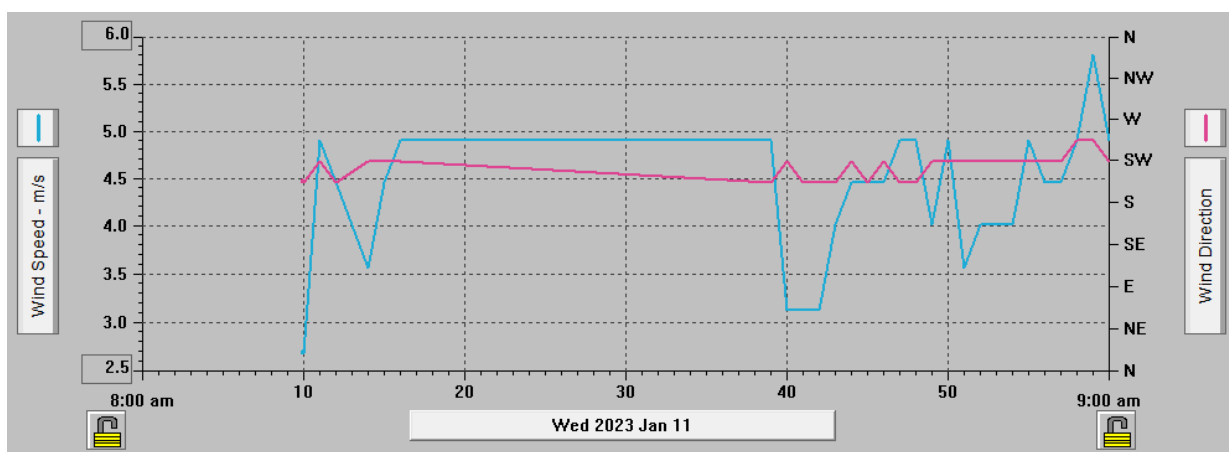
Figur B4.9a. Väderlek (SMHI).



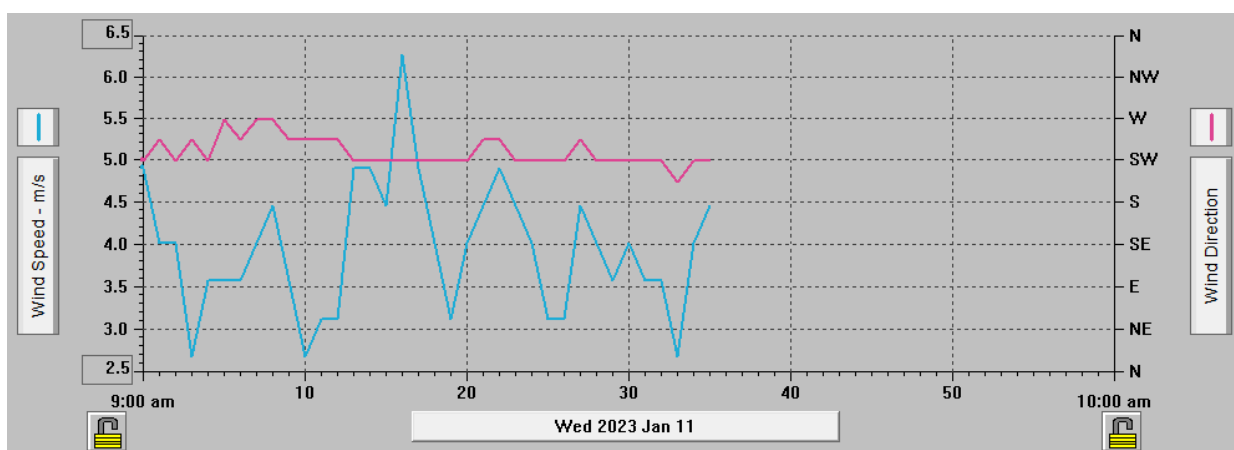
Figur B4.9b. Max vindriktning och vindhastighet.



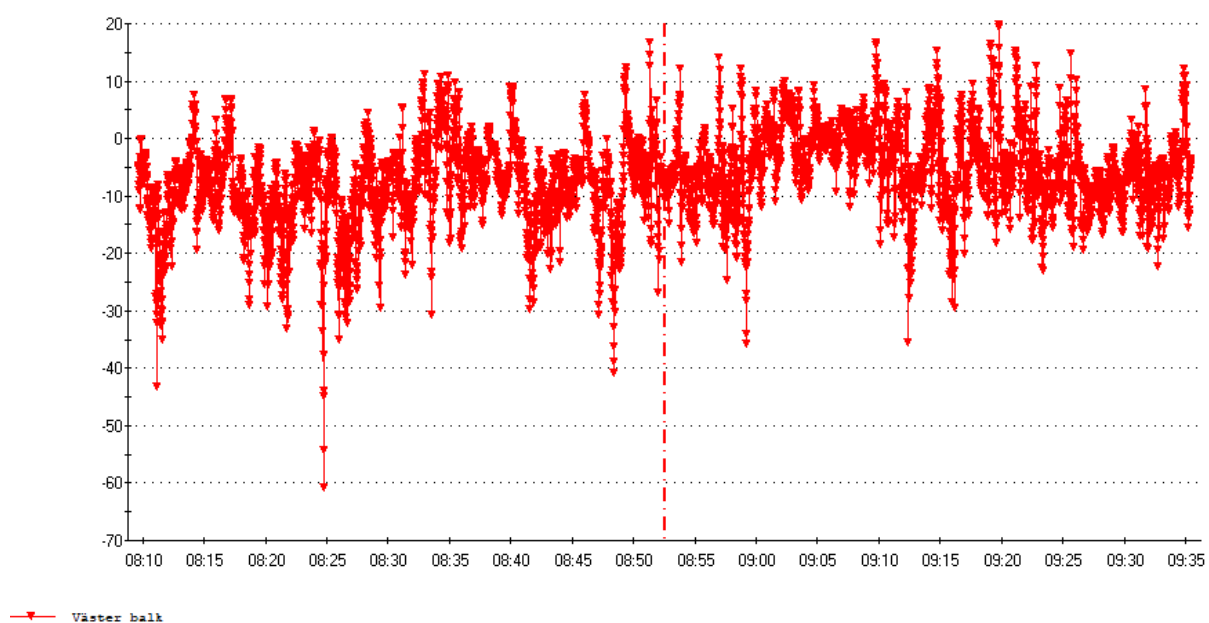
Figur B4.9c. Max vindriktning och vindhastighet.



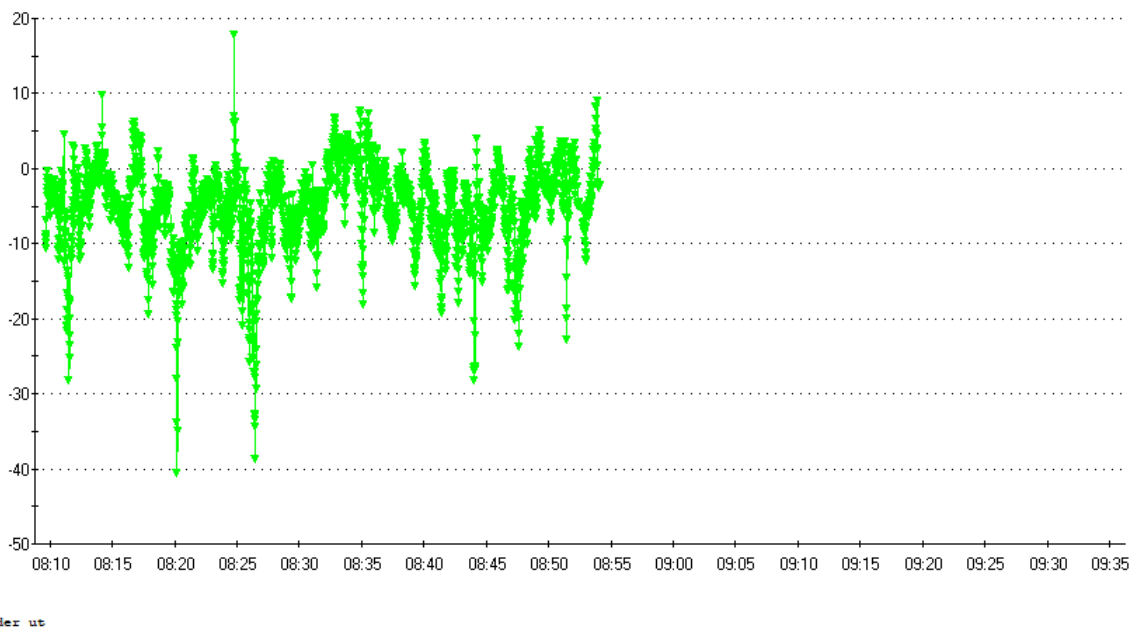
Figur B4.9d. Medelvindhastighet och vindriktning.



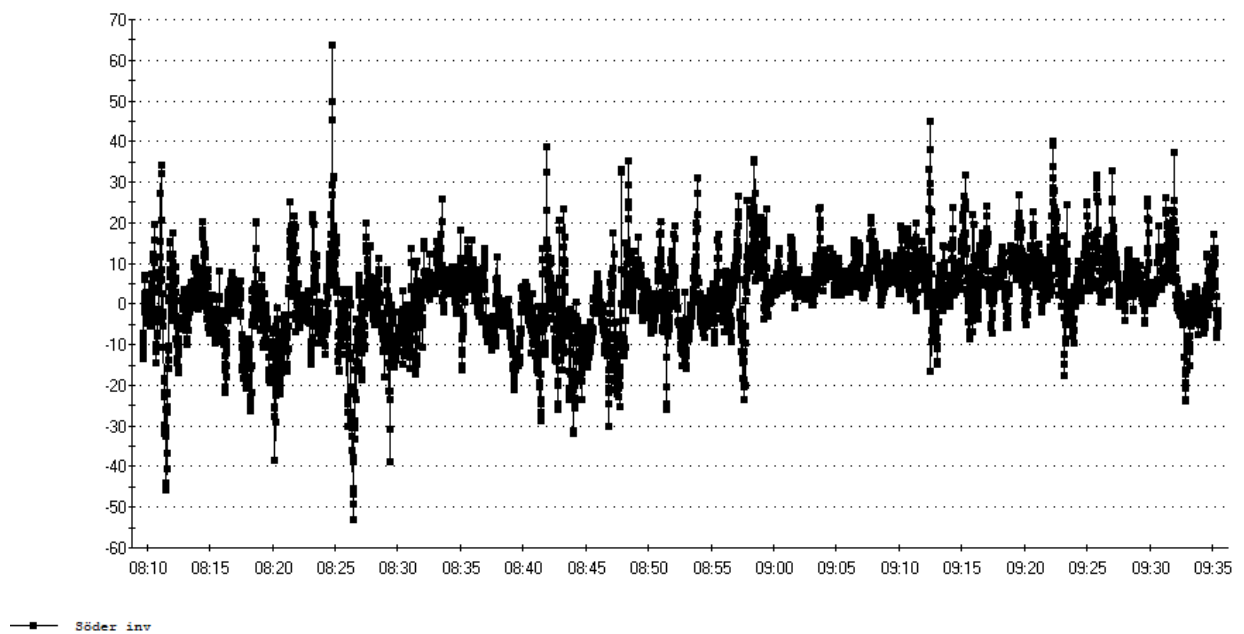
Figur B4.9e. Medelvindhastighet och vindriktning



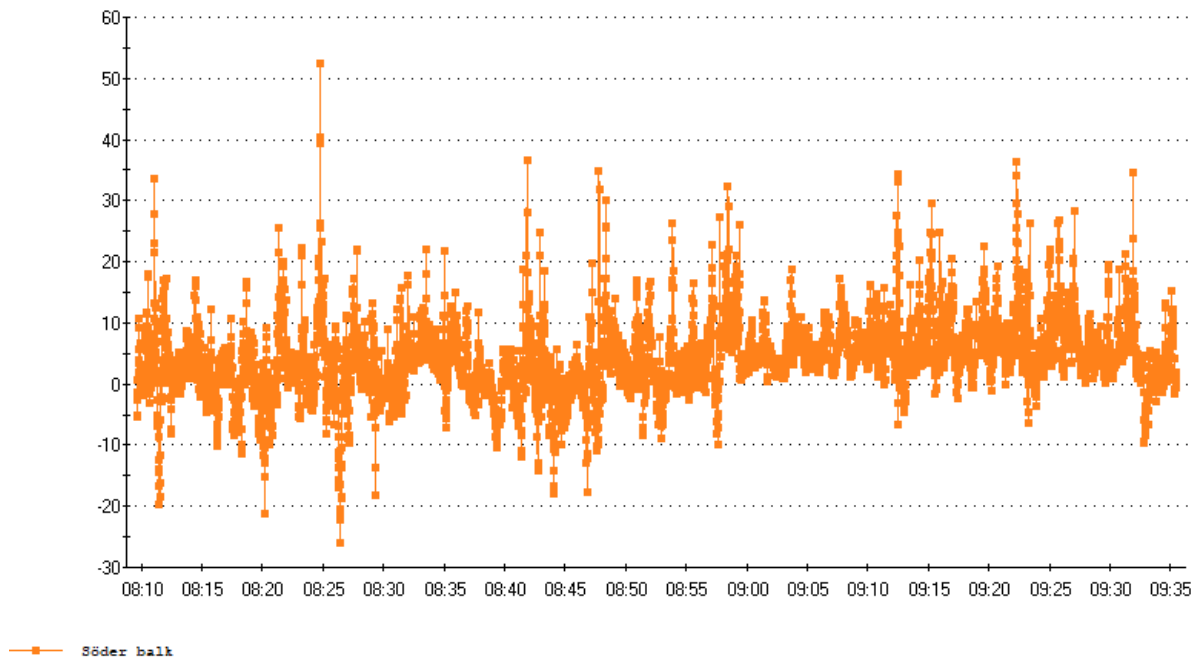
Figur B4.10. Tryckskillnad i västerfasad (mät punkt 2.5), över fogtätning, nära vägghörn mot söder, (plan 2) mot ute.



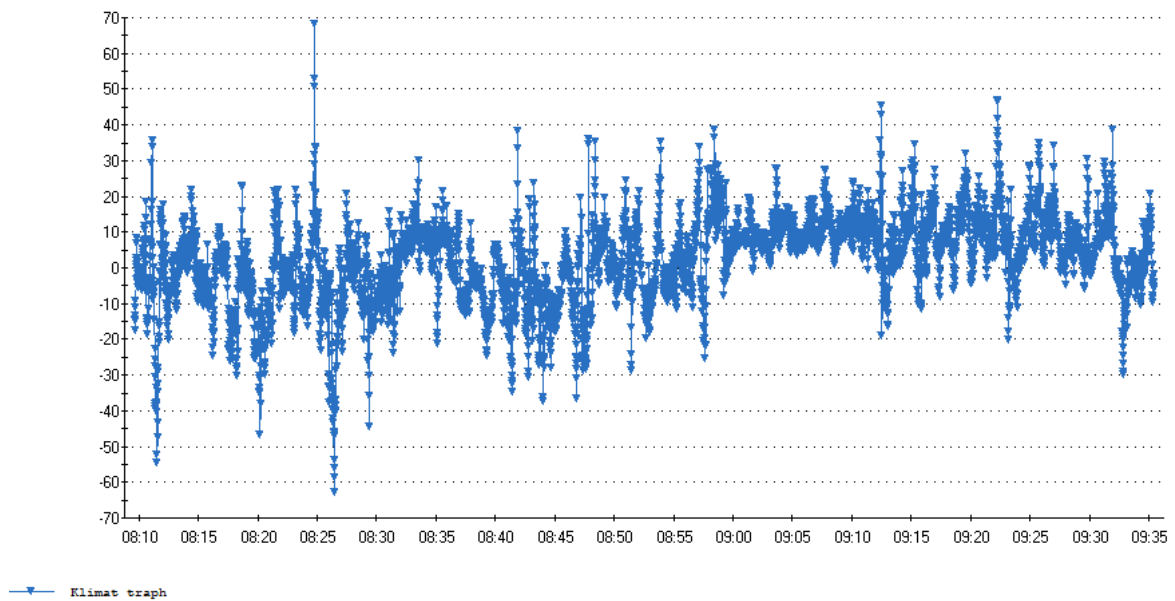
Figur B4.11a. Tryckskillnad i söderfasad (mät punkt 2.2), över fogtätning, (plan 2) mot ute.



Figur B4.12. Tryckskillnad i söderfasad (mät punkt 2.3), över betongskiva ca 0,5 m från horisontell fog, plan 2, mot ute.












Figur B4.13. Tryckskillnad i söderfasad (mät punkt 2.4), över fogtätning, nära vägghörn mot väster, (plan 2) mot ute.



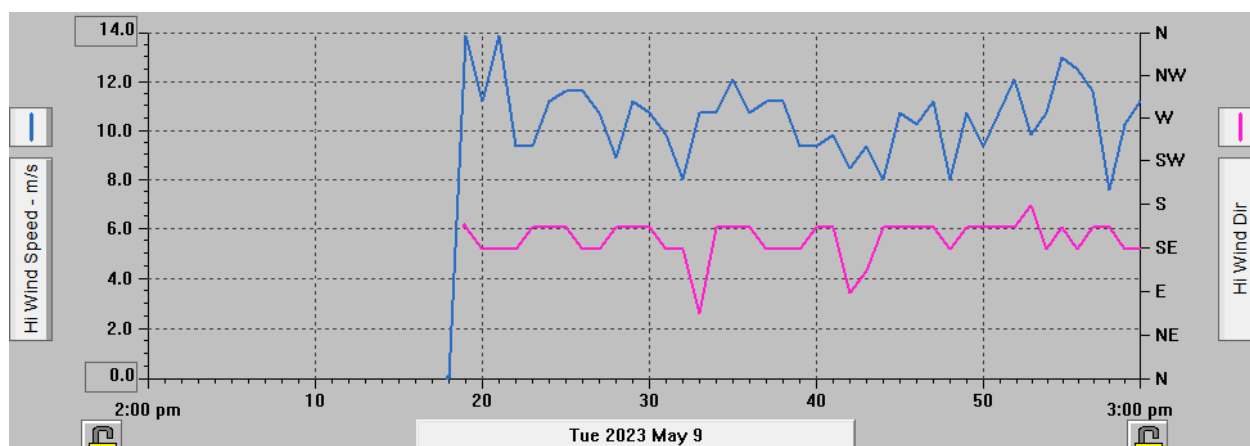
Figur B4.14. Tryckskillnad i trapphus (mät punkt 2.6), plan 2, mot ute (söder).

Bilaga 5, byggnad 3 (Göteborg)

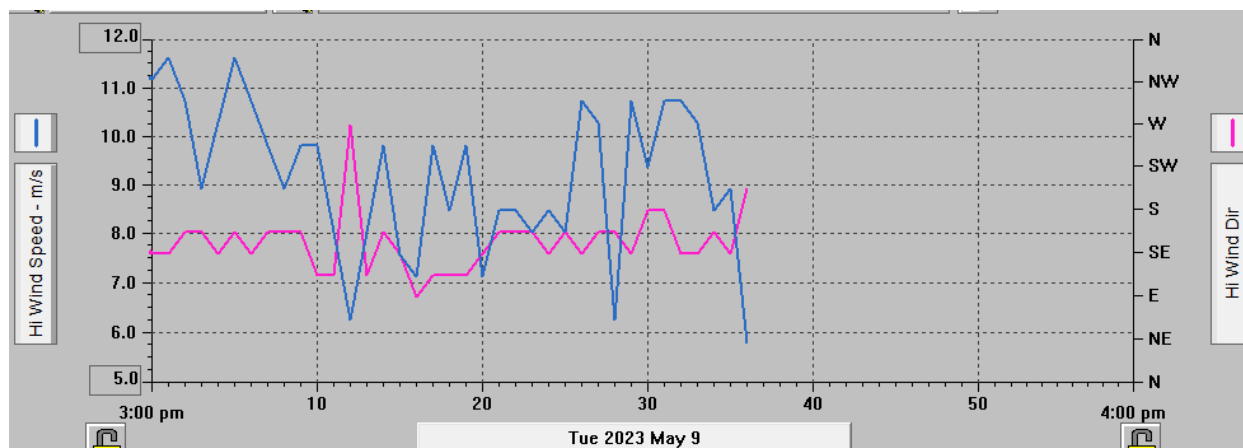
Mättillfälle 9 maj 2023

 Idag 9 maj	0° 20° 9°	☁ 0,0 mm	☞ 6 m/s ↑ 11 m/s	☀ 05.03 21.16			
Dygnet's nederbörd räknas från tis 00.00 till tis 17.00.							
Tid	Väder	Nederbörd mm	Vind m/s (byvind)	Känns som °C	Luftfuktighet %	Luftryck hPa	Sikt km
17	 19°	0,0	S ↑ 6 (11)	19°	22	1017	20 - 50
16	 20°	0,0	S ↑ 7 (12)	20°	21	1017	20 - 50
15	 20°	0,0	S ↑ 7 (13)	20°	23	1018	20 - 50
14	 19°	0,0	S ↑ 7 (13)	19°	23	1018	20 - 50
13	 19°	0,0	S ↑ 7 (13)	19°	24	1019	20 - 50
12	 17°	0,0	S ↑ 8 (12)	17°	25	1020	20 - 50
11	 16°	0,0	S ↑ 8 (13)	16°	31	1020	20 - 50
10	 15°	0,0	S ↑ 7 (12)	15°	36	1020	10 - 20

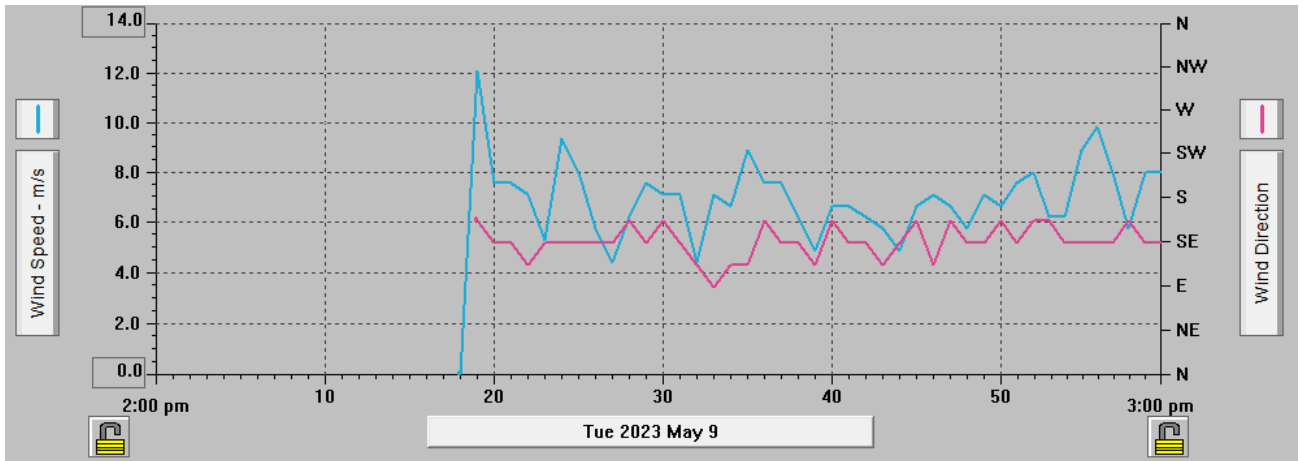
Figur B5.1. Väderlek (SMHI)



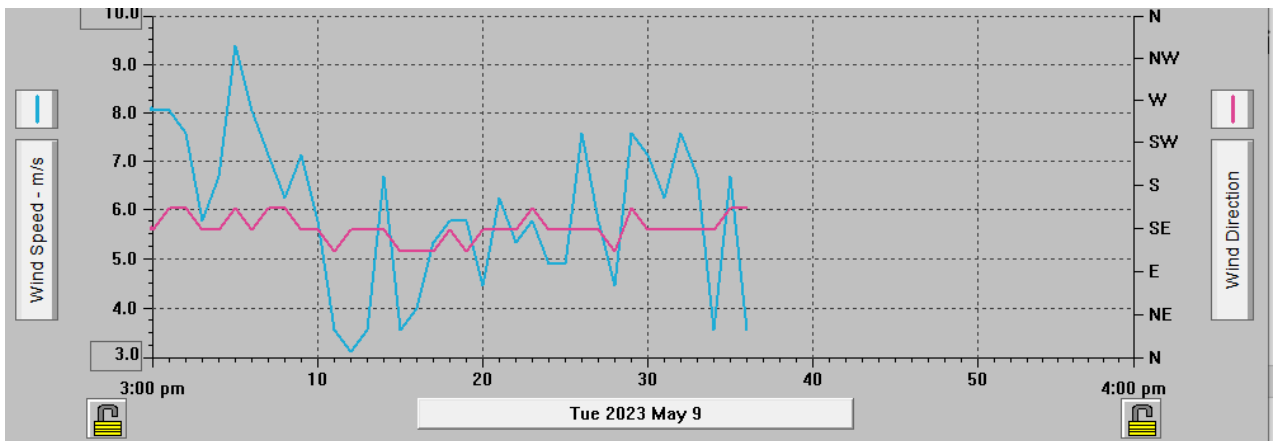
Figur B5.1a. Max vindhastighet och vindriktning.



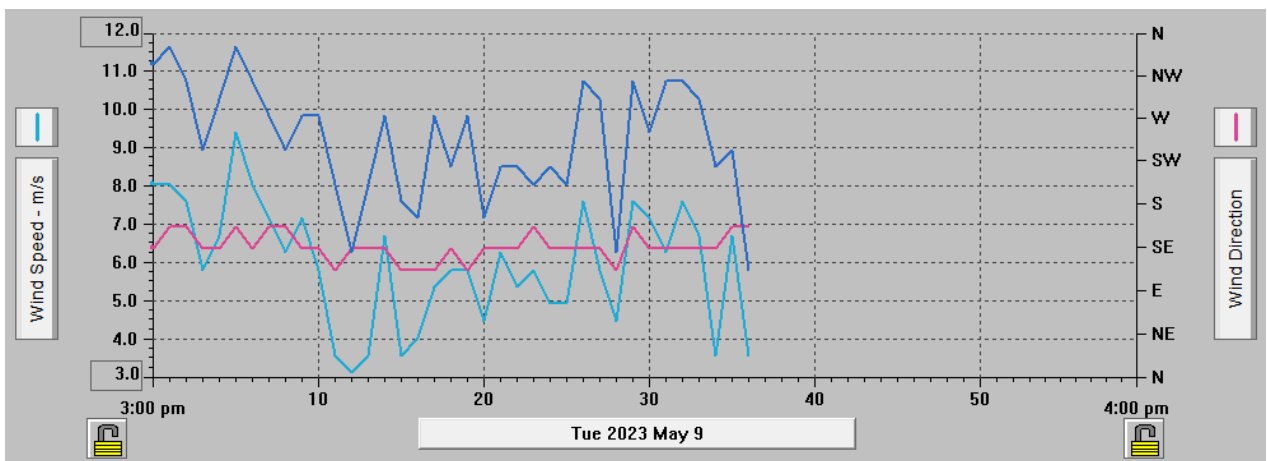
Figur B5.1a. Max Vindhastighet och vindriktning.



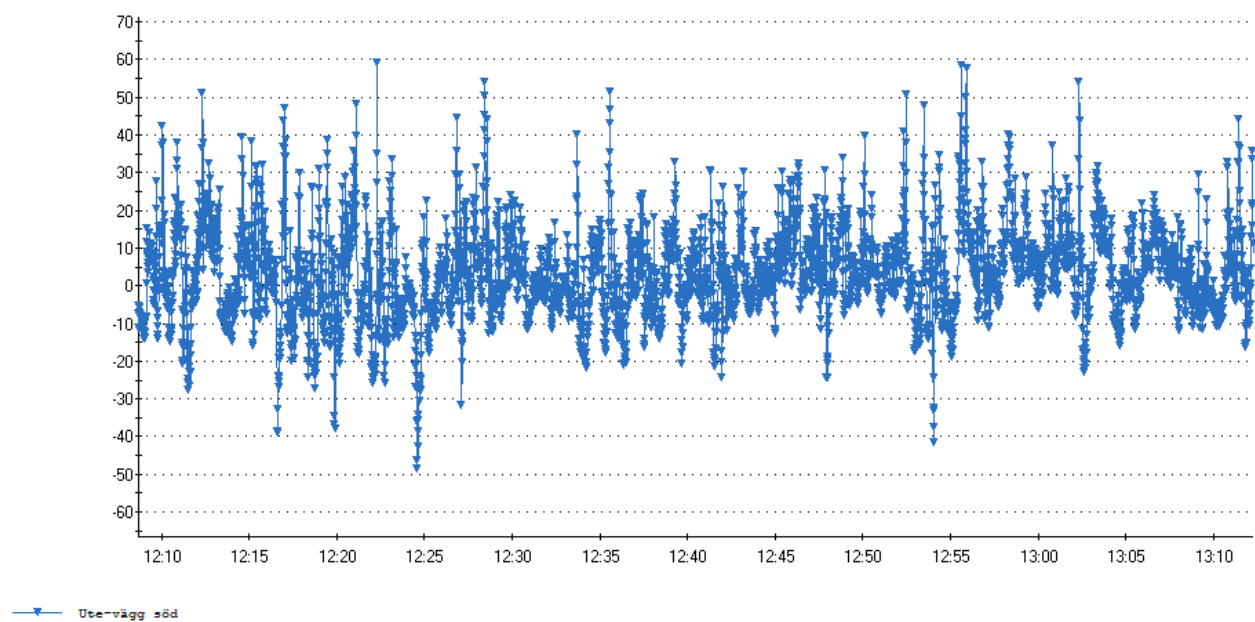
Figur. B5.1c. Medelvindhastighet och vindriktning.



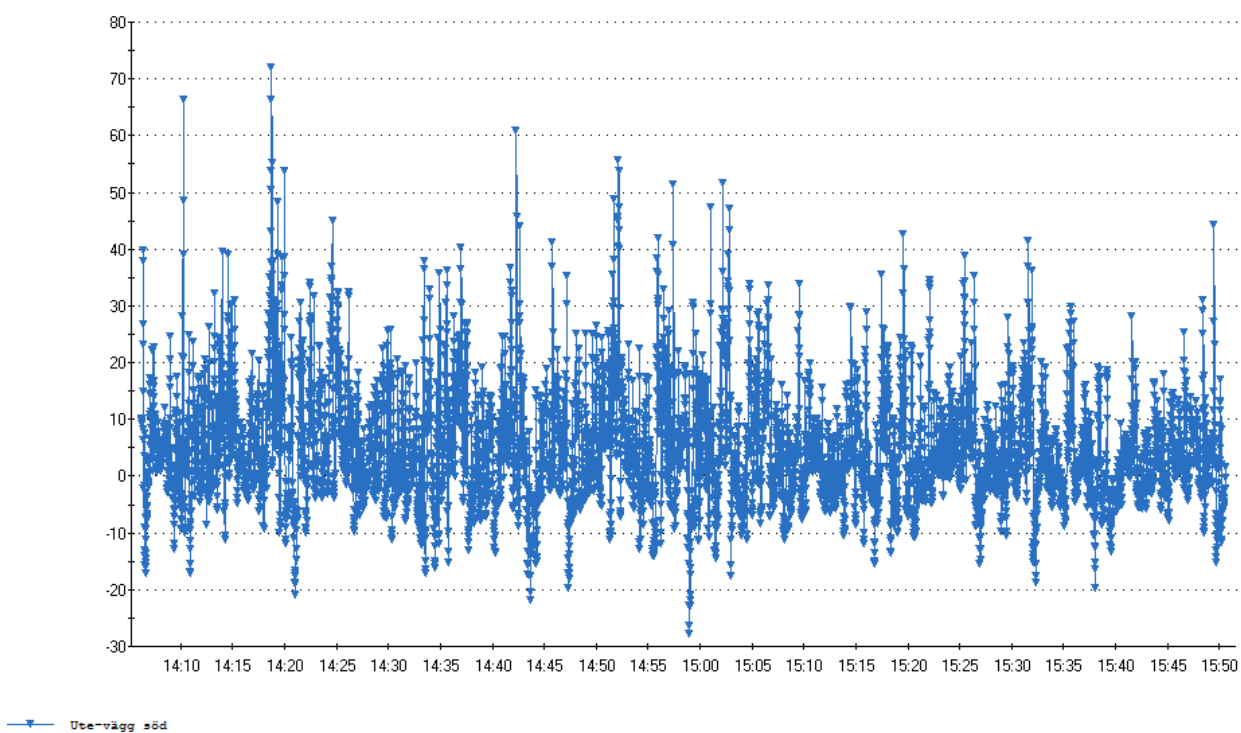
Figur. B5.1d. Medelvindhastighet och vindriktning.



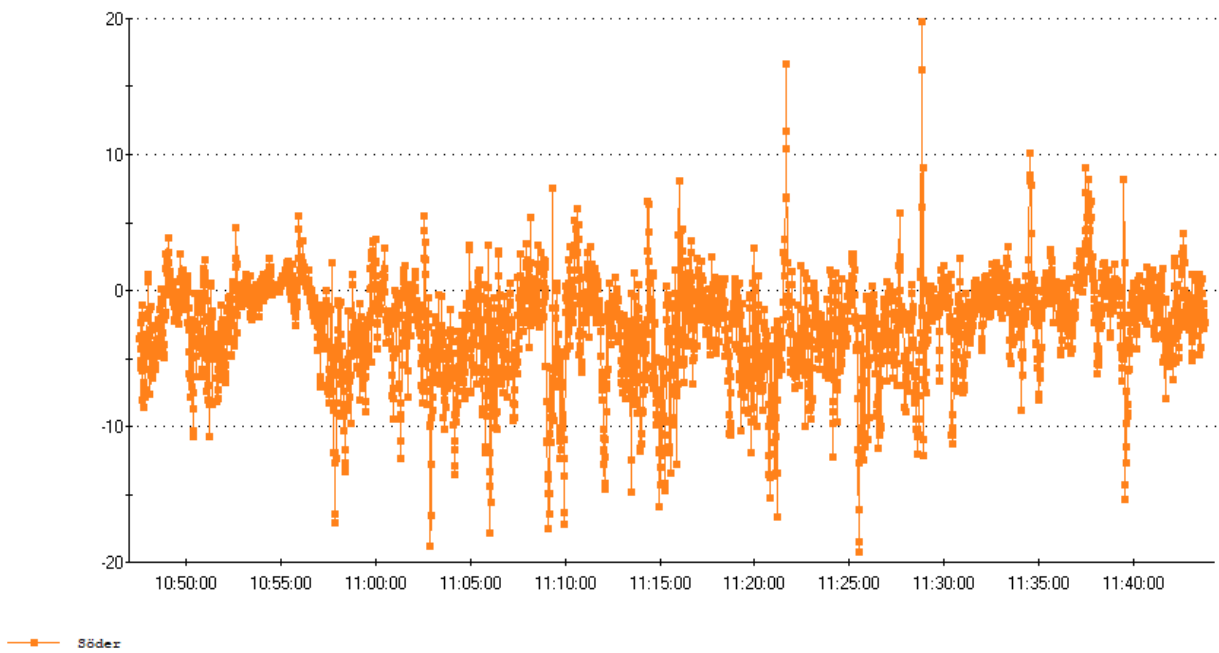
Figur B5.1e. (Jämförelse) Max- och medelhastighet samt vindriktning för medelhastighet.



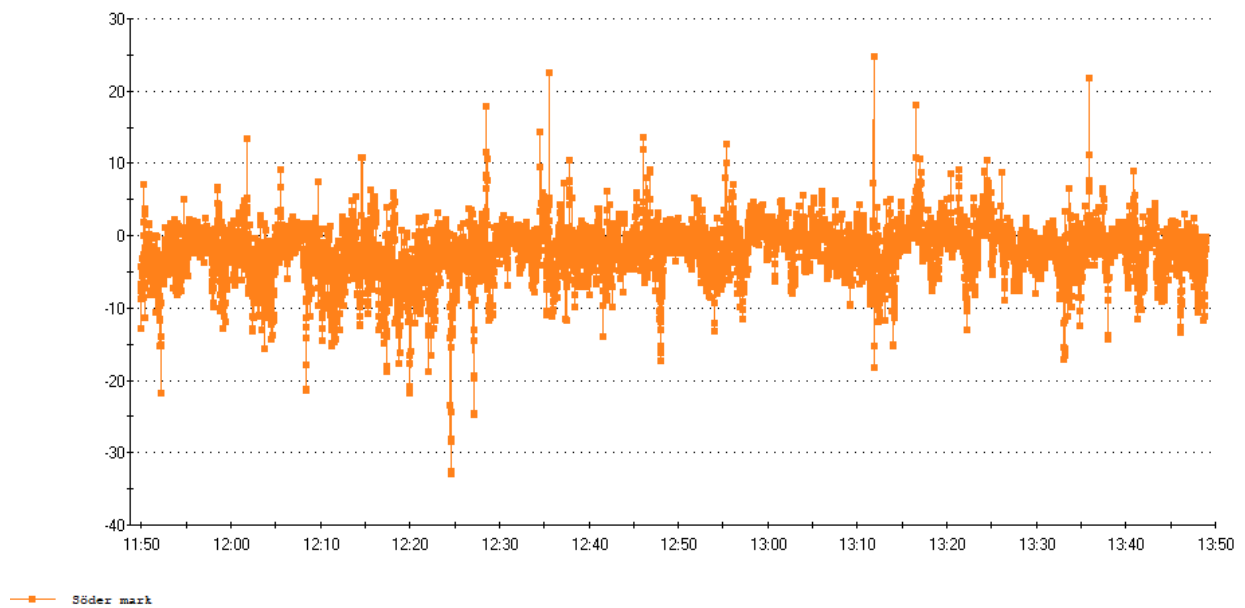
Figur B5.2. Tryckskillnad i söderfasad (mät punkt 3.3) mot ute, över fogtätning, (plan 5).



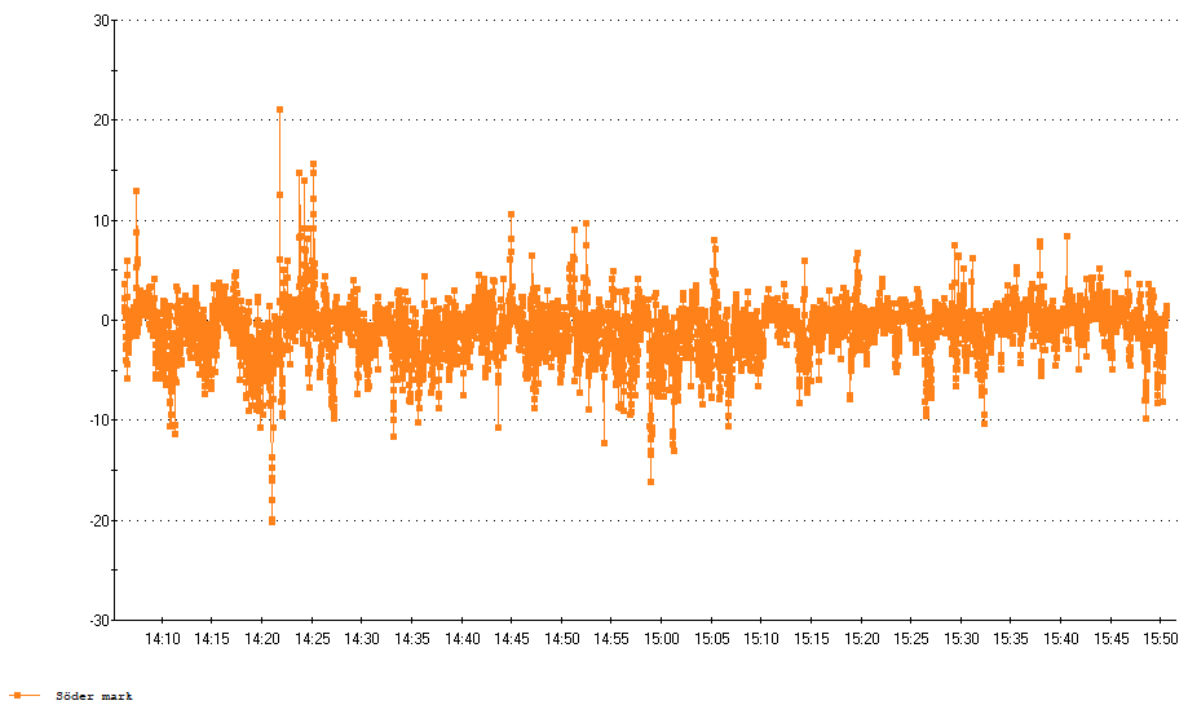
Figur B5.3. Tryckskillnad i söderfasad (mät punkt 3.3) mot ute, över fogtätning, (plan 5).



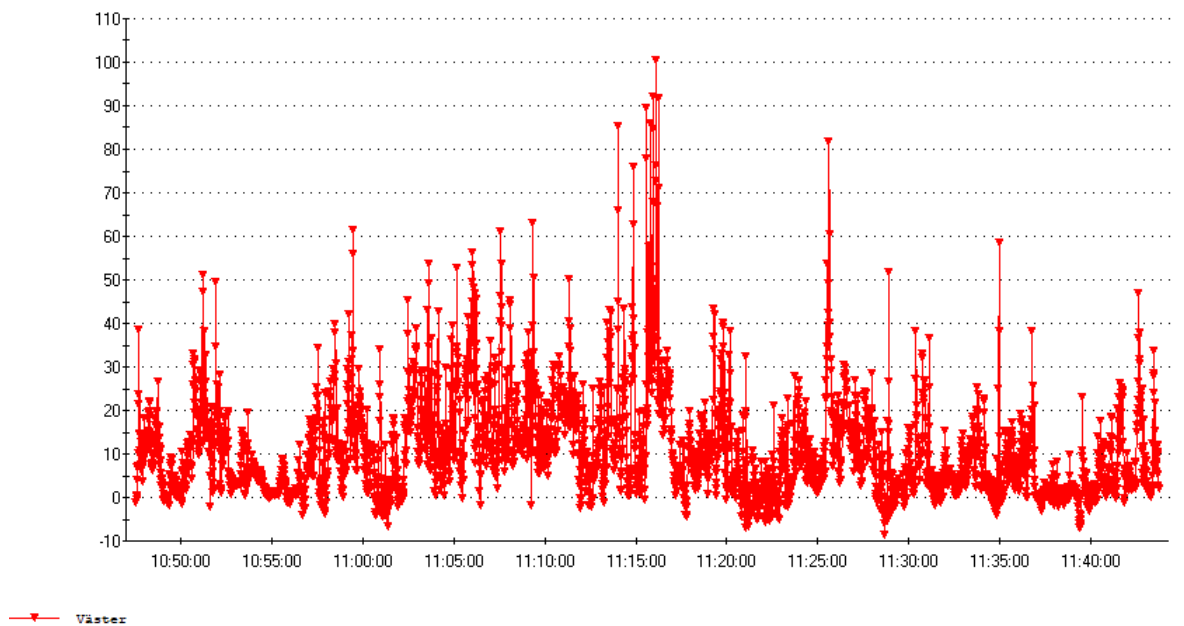
Figur B5.4a Tryckskillnad i söderfasad (mät punkt 3.1) mot ute, över fogtätning via TDV- öppning, (plan 2).



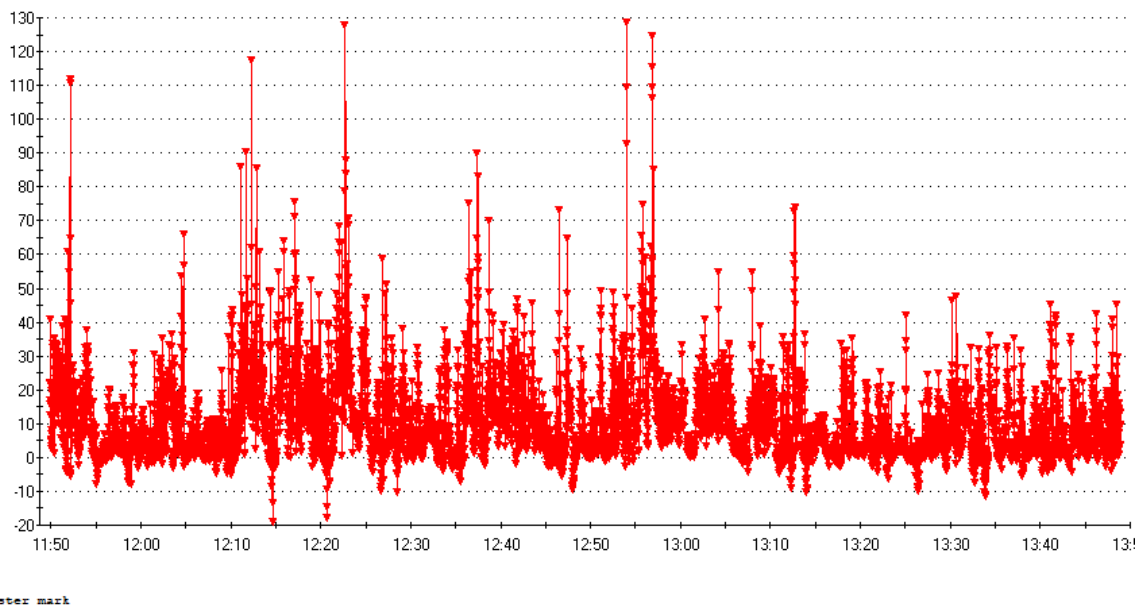
Figur B5.5b Tryckskillnad i söderfasad mot ute (mät punkt 3.1), över fogtätning via TDV-öppning, (plan 2).



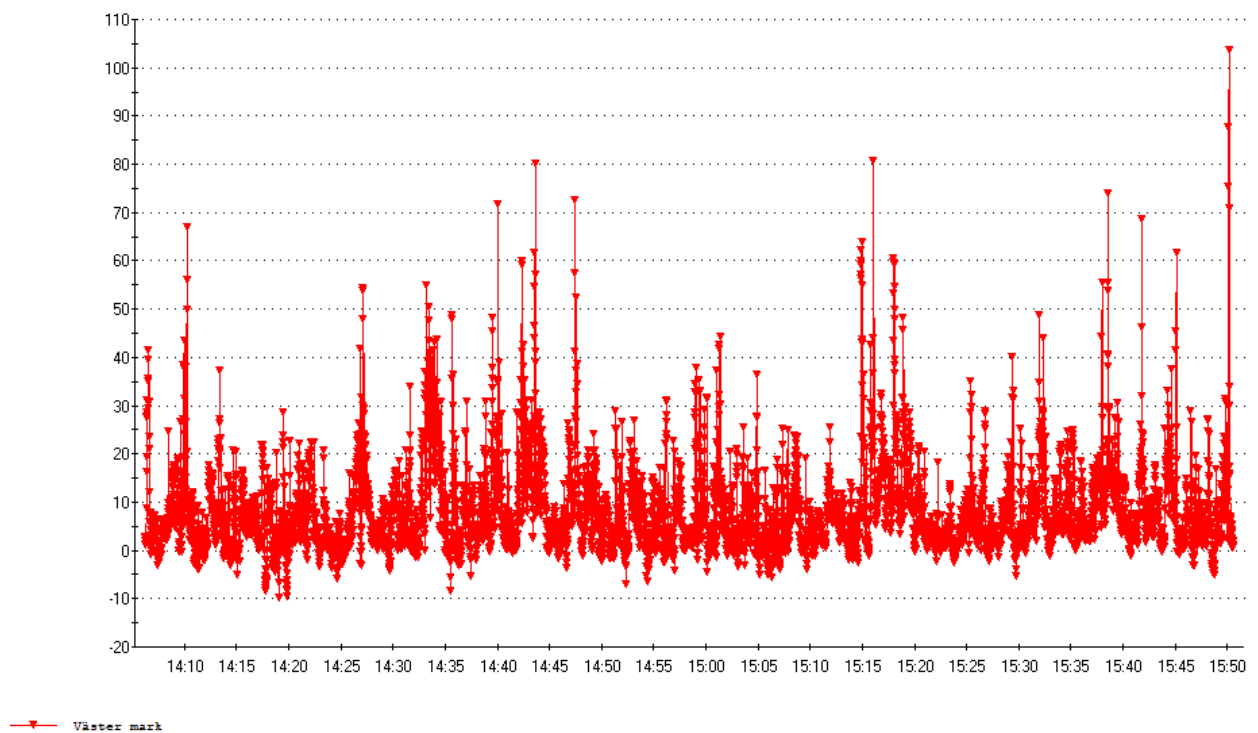
Figur B5.5c. Tryckskillnad i söderfasad mot ute (mät punkt 3.1), över fogtätning via TDV-öppning, (plan 2).



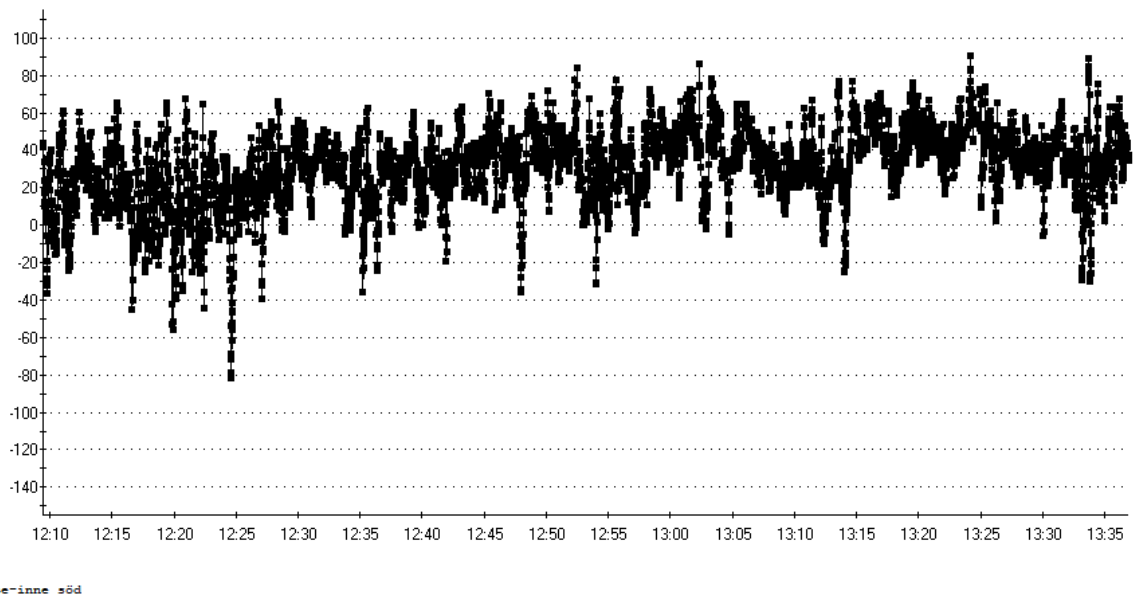
Figur B5.6a. Tryckskillnad i västerfasad (mät punkt 3.2) mot ute, över fogtätning via TDV-öppning, nära vägghörn mot söder (plan 2).



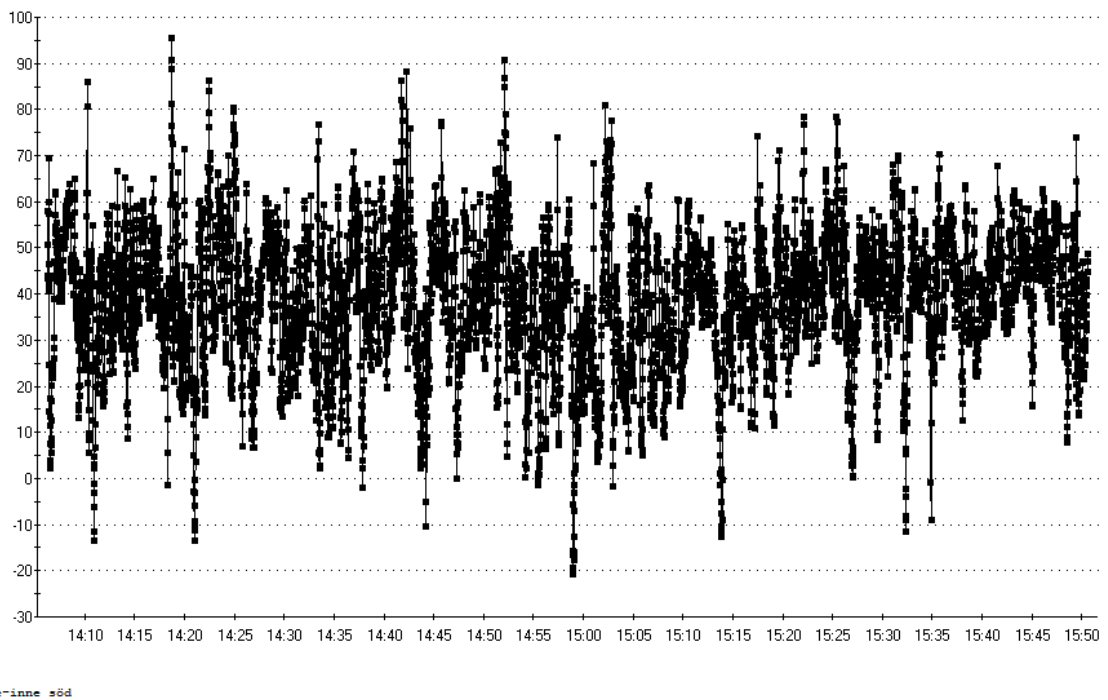
Figur B5.6b. Tryckskillnad i västerfasad (mätpunkt 3.2) mot ute, över fogtätning via TDV-öppning, nära vägghörn mot söder (plan 2).



Figur B5.6c. Tryckskillnad i västerfasad (mätpunkt 3.2) mot ute, över fogtätning via TDV-öppning, nära vägghörn mot söder (plan 2).



Figur B5.7a. Tryckskillnad inne (mätunkt 3.4) mot ute (söder), plan 5.



Figur B5.7b. Tryckskillnad inne (mätunkt 3.4) mot ute (söder), plan 5.