



Fönsterprestanda under lång tid

LÅGAN Rapport

oktober, 2020

Ivan Cusini
Stephen Burke
Tomas Ekström
Christoffer Maljanovski

NCC Building Sweden

Förord

Som de flesta bra idéer, började denna studie som en diskussion på NCC runt fikabordet. Ivan berättade att han hade pratat med en vän i Italien om just energieffektivitet och fönsterprestanda när kompisen informerade Ivan att det var helt meningslöst att köpa fönster med gas, då alla visste att gasen försvann efter en kort tid.

Kompisen menade att tätningen runt fönstren inte kunde hålla emot mekaniska krafter så som jordbävningar och vind och att den standardtestning som finns inte mäter dessa typer av påverkningar.

Efter en kort diskussion bestämde vi oss för att vi kanske borde kolla upp det, speciellt med tanke på att man räknar med att ett fönster har en viss energiprestanda under en lång tid. Vi funderade även på om denna information skulle kunna påverka indataspridning vid en probabilistisk energiberäkning samt vilka risker det skulle innebära.

Denna rapport är resultatet av en kort studie just om detta ämne. Författarna vill tacka LÅGAN för det finansiella stöd vi har fått. Vi vill även passa på att tacka COWI och HSB i Malmö för att vi fick mäta i deras objekt med kort framförhållning.

*Stephen Burke, Tekn. Dr.
Malmö, oktober 2020*



LÅGAN (samverkan för byggnader med mycket LÅG energiANvändning) är ett samarbete mellan Byggföretagen, Energimyndigheten, Boverket, Västra Götalandsregionen, Formas, byggentreprenörer, byggherrar och konsulter.

LÅGAN stöttar regionala nätverk inom byggande av lågenergibyggnader och skapar gemensamma projekt och studier för att utveckla och driva byggande och renovering av lågenergibyggnader framåt. LÅGAN ska bidra till att Sverige ska nå sina energimål genom att bostads- och lokalsektorn starkt effektiviserar sin energianvändning och ökar byggtakten av lågenergibyggnader.

www.laganbygg.se

Sammanfattning

Argon är för närvarande den vanligaste gasen som används i två- och treglasfönster för att minska transmissionsförluster genom fönsterkassetten. Det är en viktig lösning som bidrar till att byggnader uppnår en låg energianvändning.

Några studier har dock visat att mängden argongas kan minska med tiden och därmed även försämra fönstrets isolerande förmåga. Konsekvensen av denna förlust är större uppvärmningsbehov vilket leder till ökat utsläpp av växthusgaser.

I denna rapport redovisas resultatet av en begränsad litteraturstudie om beständighet av gasfyllda isolerfönster samt resultaten från en initial fältmätningstudie för att kvantifiera beständigheten. Resultatet av utförda fältundersökningar där gasinnehållet uppmäts redovisas för tre kommersiella byggnader i Malmö med 1, 5 och 15 år gammalt fönster. Gaskoncentration av argon uppmättes i totalt 124 fönsterkassetter.

Mätningarna på fönster som var ett år gamla visar att nya fönster levereras och monteras med sitt gasinnehåll oförändrat, d.v.s. över 91 % . I kontorsbyggnaden med 5 år gamla fönster hade fönstrena i ett vindutsatt läge ca 80 % gaskoncentration kvar medan fönster som placerats skyddat bakom en glasfasad hade 90 % gaskoncentration kvar. I det tredje huset hade 15 år gamla fönster i ett vindutsatt läge ca 20 % gaskoncentration kvar medan fönstrena som var placerade i ett väderskyddat läge hade ca 70 % gaskoncentration kvar.

Mätresultaten indikerar att fönstrenas gaskoncentration avtar snabbare än standarden SS-EN 1279-3 tillåter (max 1 % enhet per år). En förklaring till varför gaskoncentrationen avtar snabbare än förväntat kan vara kopplat till vindlaster och mekanisk påverkan (öppning och stängning) eftersom öppningsbara fönster och dörrar samt mer vindutsatta glaskassetter generellt uppmätte lägre gaskoncentration än fasta och vindskyddade kassetter.

Innehållsförteckning

Förord	2
Sammanfattning	3
1 Inledning	5
1.1 Syfte	5
2 Metod	6
3 Resultat	8
3.1 Litteraturstudie	8
3.2 NCC:s mätningar av befintliga fönster	10
3.2.1 Fallstudie 1 – Nybyggd kontorsbyggnad	10
3.2.2 Fallstudie 2 – Fem år gammal kontorsbyggnad	11
3.2.3 Fallstudie 3 – 15 år gammal kontorsbyggnad	13
4 Diskussion och slutsats	15
5 Framtida arbete	18
6 Referenser	19

1 Inledning

Enligt den europeiska standarden SS-EN 1279-3 framgår det att fönster med gasfyllning inte får läcka mer än 1 % gaskoncentration per år (SIS Swedish Standards Institute, 2018). I Annex B av standarden anges att uppmätt gasläckage i verkliga fall var mindre än resultatet från labbet (d.v.s. mindre än 1 % gaskoncentration per år i minskning), men standarden hänvisar inte till någon referens eller studie, så deras påstående om sina mätningar kan inte verifieras eller granskas utan utredning. Vidare ges varningen att fönster som är mer än 10 år gamla förlorar sin gas med en betydligt högre hastighet än när de var nya (en dubbling varje 10 år av gasförlusten). I Annex B beräknas även att gasfyllning förbättrar prestandan av en standardfönsterkassett utan gas med ca $0,4 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ (s.27). Dessa kontroller utförs i laboratorier genom en påskyndad åldringsprocess (SIS Swedish Standards Institute, 2018).

Hållfastheten av fönsterkassett kan spela stor roll när det gäller energieffektivisering av byggnader med stora glasytor. En försämring på $0,4 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ i U-värdet av fönsterkassetter skulle innebära en sämre energiprestanda i byggnader med stora glasytor. Enligt personlig kommunikation med en italienare har fönster med gasfyllning valts bort på grund av att rykten cirkulerar om att gasen försvinner så pass snabbt att det inte är lönsamt att köpa sådana fönster!

Om det kan bekräftas att fönsterkassetter förlorar sin gasfyllning snabbare än förväntat, uppstår det många frågor:

- Hur försämras den verkliga fönsterprestandan över tid vid normalt brukande i nordiskt klimat?
- Hur påverkar detta byggnaders energiprestanda över tid?
- Vilka möjligheter finns det att återfylla gas på plats?
- Vilka möjligheter finns det att återanvända äldre fönsterkassetter?
- Vad krävs för att förbereda framtida fönsterprodukter för återbruk?

1.1 Syfte

Syftet med denna studie är att undersöka om fönsterkassetters prestanda påverkas under brukstiden i nordiskt klimat samt titta på hur denna frågeställning har utretts tidigare.

2 Metod

Litteraturstudier gjordes för att sammanställa relevant information om åldringsprocessen för energieffektiva fönster, med särskilt fokus på argongaskoncentrationen i fönsterkassetterna. Kontakter togs med ett antal författare i ämnet för att kontrollera om det fanns några studier med fältmätningar av argongaskoncentration i fönsterkassetter.

Efter litteraturstudien, genomfördes fältmätningar av fönsters argongaskoncentration i tre olika kontorsbyggnader i Malmö, Sverige. Mätningarna gjordes med instrumentet *Sparklike Gasglass Laser (Portable)* som kan mäta syreabsorptionen i luftspalten. Syreabsorptionstalet kan sedan räknas om till andel argon i procentenheter.



Figur 1: Sparklikes Gasglass laser.

För att genomföra en mätning, används följande metod (enligt instruktionsmanualen):

- Placera mätinstrument (vänster del i Figur 1) mot fönstret.
- Tyck på "mät"-knappen. Först sugs all luft mellan instrument och glas ut. Efter att luften är borta börjar instrumentet mäta. Vänta tills instrumentet släpper från fönsterglas. Mätningar tar mellan 11 till 30 sekunder.
- Kontrollera dimensionerna på skärmen (glastjocklek och argonspalten) och säkerställ att de stämmer överens med leverantörens specifikationer.
- Läs av % argon från spalten/de olika spalterna (vid treglasfönster).

Vid tveksamma (till exempel oväntat låga) värden genomfördes mätningar en gång extra för att säkerställa att mätresultaten var korrekta.

Till fallstudien har tre objekt valts ut för att representera olika typer av förutsättningar. En målsättning var att byggnaderna skulle vara av olika åldrar, för att indikera hur fönsterprestandan försämras med tiden. Därav valdes en byggnad inom respektive kategori:

- 0-2 år: För att undersöka den initiala prestandan på fönster, om det kan indikeras att det finns problem/avvikelser i de tidiga skedena, under tillverkning, transport, eller montering.
- 3-10 år: Några år gamla fönster för att se om de följer den initiala förlusten enligt standarden.
- >10 år: Ett äldre objekt, för att se om det följer standarden med en accelererande förlust av gasinnehåll.

Utöver detta har de objekt som valts ut även vissa speciella förutsättningar vilket ger möjlighet att utreda frågeställningar så som att:

- Ett objekt har helt oskyddade fasader – då det är mycket högre än övrig bebyggelse finns det inga andra byggnader som skyddar mot vind eller nederbörd – vilket ger en möjlighet till att utreda om riktningen påverkar åldringsprocessen.
- Ett objekt har ett skyddande yttre lager (en yttre glasfasad) vilket ger en möjlighet att jämföra med övriga fasader och utreda om denna lösning även bevarar prestandan.
- Testa både fasta och öppningsbara fönster och dörrar för att indikera om den ökade mekaniska åverkan påverkar åldringsprocessen.

Fallstudie 1 är en nybyggd kontorsbyggnad med treglasfönster som är ca ett år gamla. Mätningarna utfördes på bottenvåningen för olika fönster och dörrar som exponerades mot samtliga väderstreck.

Fallstudie 2 är en kontorsbyggnad med en ventilerad glasfasad i den södra fasaden och med argonfyllda tvåglasfönster som är ca fem årgamla. Byggnaden är utsatt för vindströmmar i ett mycket blåsig område i Öresundsområdet, med vindstyrkor upp till 30 m/s. Mätningarna utfördes på tredje våningen av totalt nio våningar i samtliga väderstreck.

Fallstudie 3 är ett 170 m högt höghus – med blandad verksamhet - med argonfyllda tvåglasfönster som har varit i bruk i ca 15 år i ett mycket blåsig område i Malmö som ligger precis vid kusten. Mätningarna ägde rum på våning 2 i ett väderstreck och våning 53 i samtliga väderstreck.

3 Resultat

3.1 Litteraturstudie

Den vanligaste fönstertypen är i dag treglasfönster med gasfyllning. Om gasen mellan glastrutorna läcker ut så kan fönstrets isoleringsförmåga, och därmed dess U-värde, drastiskt försämrats. Således kan energiförlusten genom fönster (som redan är hög relativt byggnadens totala energianvändning) öka om en gasläcka uppstår. Gaserna som används är antingen argon, krypton eller xenon. Argongas är vanligast då de andra gaserna är dyrare. Dessutom, finns det även olika typer av distanser i fönster som skapar spalten mellan glasskivorna. En vanlig typ är aluminium men det finns andra typer som till exempel kompositmaterial. Enligt Ashphaug (2016) presterar aluminiumdistanser sämre när det gäller labbundersökningar av gastäthet än till exempel kompositmaterial (Asphaug *et al.*, 2016).

Det finns i dag väldigt få studier genomförda på fönster avseende energiprestanda över tid, speciellt på äldre fönster. I en rapport från 2016 beskriver SINTEF resultaten av att utsätta 18 tvåglasfönster med gasfyllning för påskyndad åldring. Beroende på testförfarande och fönstertyp visades olika resultat. Inför testet grupperades de i tre grupper (olika åldringsmetoder), där en av grupperna med aluminiumdistanser i genomsnitt förlorade 7 %-enheter av sin gaskoncentration under åldringsprocessen som pågick i 490 dagar. Två av de 18 testade fönsterna fallerade helt och förlorade allt sitt gasinnehåll. I rapporten uppskattas även de ekonomiska konsekvenserna till följd av den ökade energianvändningen på grund av fönstrenas försämrade energiprestanda. Enligt deras beräkningar ökar energianvändningen i ett småhus med ca 4 kWh/m², A_{temp}, per år utan gas i glaskasseten. Enligt deras beräkningar ger det en försämring på U-värdet om ca 0,2 W/m²K oavsett om det rör sig om två- eller treglasfönster (Asphaug *et al.*, 2016).

En annan rapport från SP (Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut, nuvarande RISE), (Olsson-Jonsson, 2005), att ca 100 fönster testats genom att utsättas för påskyndad åldring. Resultatet visar på en genomsnittlig gasförlust om 3–4 %-enheter per år. De fåtal studier som finns på fönsters energiprestanda över tid är alltså utförda i kontrollerad laboratoriummiljö. Det är inte möjligt att med säkerhet veta hur resultaten korrelerar med verkligheten eftersom åldringsprocessen är forcerad.

Med ökande fokus på minskad energianvändning av byggnader samt ständiga skärpningar av energikrav blir det allt viktigare att veta hur de ingående byggnadsdelarna presterar i förhållande till varandra samt över tid. Om en specifik byggnadsdel står för en stor andel av den totala energianvändningen i en byggnad, är det ofta mest kostnadseffektivt att vidta energieffektiviserande åtgärder för just den byggnadsdelen. I takt med att väggar och tak med åren har utökats med större isoleringstjocklek, har även behovet av energieffektiva

fönster ökat. Utvecklingen av fönster har gått från enkelglas till tvåglas till tvåglas med gasfyllning till treglas med gasfyllning på kort tid. Av en byggnads totala energianvändning kan mellan 15–50 % härledas till byggnadens fönster (Olsson-Jonsson, 2005; Asphaug *et al.*, 2016), beroende på fönster- och byggnadstyp. Fönster (och även dörrar med fönsterkassett) utsätts för varierande påfrestningar under sin livstid; temperaturdifferenser över 70 °C, nederbörd i form av snö, regn och hagel, vibrationer, UV-strålning och mekanisk åverkan för att nämna några exempel. Ingen studie i den genomförda litteraturundersökningen kunde beskriva hur länge fönster under dessa förhållanden klarar av att bibehålla sin gastäthet och därmed sin isoleringsförmåga. Från och med år 2020 skärps energikraven ytterligare vilket kommer innebära att nya byggnader måste ha en väldigt låg energianvändning. Dessa byggnader kallas för nära-nollenergibyggnader (NNE-byggnader). Om branschen på ett kostnadseffektivt sätt ska kunna uppfylla dessa krav behöver fönsters energiprestanda över tid utvärderas.

Knudsen och Jensen(2000) drog slutsatsen att enstaka förseglade enheter med polysulfid som tätningsmedel uppvisade en gasförlust på 3–5 % per år, medan Christiansen(1983) uppmätte initiala argongaskoncentrationer på mellan 66 och 94 %. Hans studie styrker teorin att gasinnehållet i nytillverkade fönster kan variera kraftigt.

Enligt den europeiska delstandarden SS-EN 1279-3 framgår det att fönster med gasfyllning inte får läcka mer än 1 % per år. Vidare ges varningen att gaskoncentrationen avtar betydligt snabbare då de är mer än 10 år gamla jämfört med då de var nya. Detta är dock inget som behöver tas hänsyn till vid energiberäkningar eller energiuppföljning.

3.2 NCC:s mätningar av befintliga fönster

Resultaten från genomförda fältmätningar för respektive objekt presenteras nedan med beskrivning av intressanta observationer.

3.2.1 Fallstudie 1 – Nybyggd kontorsbyggnad

Fönstertyp:	Plan:	Väderstrek:	Ar 1: [%]	Ar 2: [%]	Medel Ar: [%]
Fasta Fönster	Mark	N	93,3%	96,9%	94,5%
Fönsterdörr	Mark	N	1,0%	7,2%	4,2%
Fönsterdörr	Mark	N	1,0%	9,3%	5,3%
Fasta Fönster	Mark	N	89,7%	91,0%	90,3%
Medelvärde		N	46,3%	51,1%	48,6%
Öppningsbart Fönster	Mark	V	93,3%	86,8%	90,0%
Öppningsbart Fönster	Mark	V	88,6%	91,5%	90,1%
Öppningsbart Fönster	Mark	V	87,8%	81,6%	89,7%
Öppningsbart Fönster	Mark	V	94,4%	88,1%	91,3%
Öppningsbart Fönster	Mark	V	93,8%	88,3%	91,0%
Medelvärde		V	91,6%	87,3%	90,4%
Öppningsbart Dörr	Mark	S	87,3%	92,3%	87,7%
Öppningsbart Fönster	Mark	S	93,2%	95,9%	94,4%
Öppningsbart Fönster	Mark	S	93,9%	94,1%	93,9%
Öppningsbart Fönster	Mark	S	87,5%	93,9%	91,1%
Medelvärde		S	90,5%	94,1%	91,8%
Öppningsbart Fönster	Mark	Ö	89,2%	96,5%	92,8%
Öppningsbart Fönster	Mark	Ö	90,0%	95,4%	92,8%
Medelvärde		Ö	89,6%	96,0%	92,8%

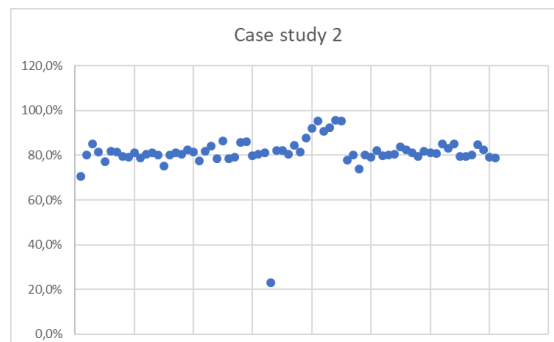


Figur 2: Uppmätt argongaskoncentration [%] i treglasfönster (uppdelat per väderstreck). Tabellen visar den uppmätta argongaskoncentrationen mellan glasskiva 1 och 2 (Ar 1), samt mellan glasskiva 2 och 3 (Ar 2). Medelvärdet mellan gasdel 1 och 2 (Medel Ar) räknades ut för respektive mätning, och även medelvärdet för respektive väderstreck (Medelvärde).

Figur 2 visar resultaten från mätningarna av totalt 15 treglas-fönsterkassetter som är ca ett år gamla. Det genomsnittliga argongaskoncentrationen i fönstrena (exklusive glasdörrarna) låg över 90 %. Av tre dörrar med glaskassett, hade endast en kvar argongaskoncentration medan de andra två var nästintill tomma.

3.2.2 Fallstudie 2 – Fem år gammal kontorsbyggnad

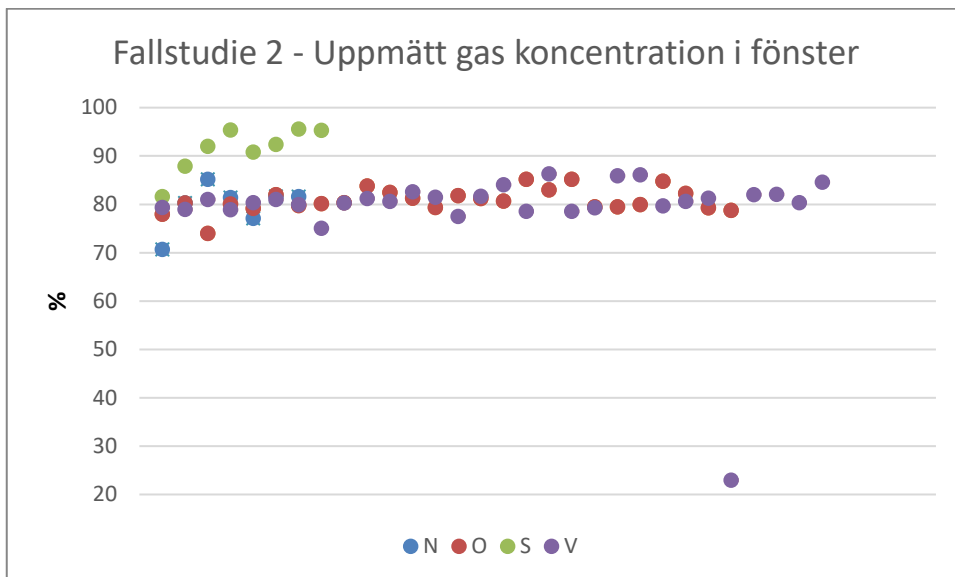
Fönstertyp:	Plan:	Väderstrek:	Ar: [%]
Öppningsbart Fönster	3	N	70,7%
Öppningsbart Fönster	3	N	80,30%
Öppningsbart Fönster	3	N	85,20%
Öppningsbart Fönster	3	N	81,40%
Öppningsbart Fönster	3	N	77,10%
Öppningsbart Fönster	3	N	81,70%
Öppningsbart Fönster	3	N	81,60%
Medelvärde			79,71%
Öppningsbart Fönster	3	V	79,40%
Öppningsbart Fönster	3	V	79,00%
Öppningsbart Fönster	3	V	81,00%
Öppningsbart Fönster	3	V	81,30%
Öppningsbart Fönster	3	V	23,00%
Öppningsbart Fönster	3	V	82,00%
Öppningsbart Fönster	3	V	82,10%
Öppningsbart Fönster	3	V	80,40%
Öppningsbart Fönster	3	V	84,60%
Medelvärde			79,09%
Öppningsbart Dörr	3	S	81,60%
Öppningsbart Fönster	3	S	87,90%
Öppningsbart Fönster	3	S	92,00%
Öppningsbart Fönster	3	S	95,40%
Öppningsbart Fönster	3	S	90,80%
Öppningsbart Fönster	3	S	92,40%
Öppningsbart Fönster	3	S	95,60%
Öppningsbart Fönster	3	S	95,30%
Medelvärde			91,38%
Öppningsbart Fönster	3	Ö	78,00%
Öppningsbart Fönster	3	Ö	80,30%
Öppningsbart Fönster	3	Ö	79,50%
Öppningsbart Fönster	3	Ö	79,50%
Öppningsbart Fönster	3	Ö	80,00%
Öppningsbart Fönster	3	Ö	84,80%
Öppningsbart Fönster	3	Ö	82,30%
Öppningsbart Fönster	3	Ö	79,30%
Öppningsbart Fönster	3	Ö	78,80%
Medelvärde			80,86%



Figur 3: Ett urval av de 77 uppmätta argongaskoncentrationerna [%] i tvåglasfönster (uppdelat per väderstreck) med medelvärdet av respektive väderstreck.

Figur 3 och 4 visar resultaten från mätningarna av totalt 77 fönsterkassetter som är ca fem år gamla. Den genomsnittliga argongaskoncentrationen i fönsterna låg på 81 %. Ett fönster i västfasaden hade en mycket låg argongasnivå på cirka 23 %.

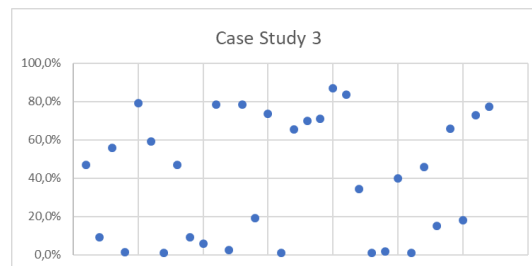
Fönster i den södra fasaden — som är skyddad av en ventilerad glasridåvägg — hade ett något högre argongasinnehåll. Där låg genomsnittet på cirka 91 %. Glasdörren hade lägst gaskoncentration av alla testade glaspartier i söderfasaden.



Figur 4: Uppmätt argongaskoncentration [%] i tvåglasfönster (uppdelat per väderstreck).

3.2.3 Fallstudie 3 – 15 år gammal kontorsbyggnad

Fönstertyp:	Plan:	Väderstreck:	Ar: [%]
Fast fönster	53	N	47,0%
Fast fönster	53	N	9,00%
Fast fönster	53	N	55,80%
Öppningsbart Fönster	53	N	1,20%
Medelvärde			28,25%
Fast fönster	53	V	79,30%
Fast fönster	53	V	59,20%
Öppningsbart Fönster	53	V	1,00%
Fast fönster	53	V	47,00%
Fast fönster	53	V	9,00%
Medelvärde			23,24%
Fast fönster	53	S	5,60%
Fast fönster	53	S	78,50%
Öppningsbart Fönster	53	S	2,30%
Fast fönster	53	S	78,60%
Fast fönster	53	S	19,10%
Fast fönster	53	S	73,70%
Fast fönster	53	S	1,00%
Fast fönster	53	S	65,60%
Medelvärde			19,93%
Fast fönster	53	Ö	69,80%
Fast fönster	53	Ö	70,90%
Fast fönster	53	Ö	86,90%
Öppningsbart Fönster	53	Ö	83,70%
Fast fönster	1	Ö	34,50%
Fast fönster	1	Ö	1,00%
Fast fönster	1	Ö	1,80%
Fast fönster	1	Ö	39,80%
Fast fönster	1	Ö	1,00%
Fast fönster	1	Ö	46,00%
Fast fönster	1	Ö	15,00%
Fast fönster	1	Ö	65,80%
Fast fönster	1	Ö	18,00%
Fast fönster	Mark	Ö	72,80%
Fast fönster	Mark	Ö	77,30%
Medelvärde			15,59%

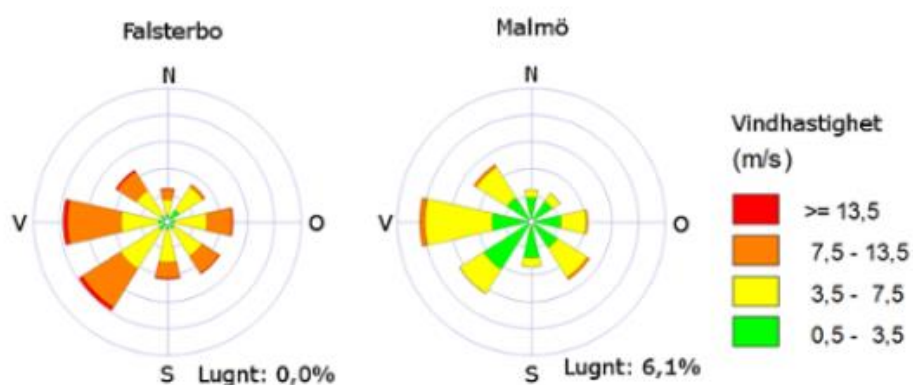


Figur 5: Uppmätt argongaskoncentration [%] i tvåglasfönster (uppdelat per väderstreck).

Figur 5 visar resultaten från mätningarna av totalt 32 fönsterkassetter som är ca 15 år gamla. Det genomsnittliga argongaskoncentrationen i fönsterna var 19,5 %. De uppmätta värdena varierade kraftigt. De flesta öppningsbara fönster hade ett argogasinnehåll nära noll, men det fanns också några fall där samma fönstertyp hade en gaskoncentration över 70 %. De fasta fönstren hade generellt högre gaskoncentrationer än de öppningsbara.

Dessutom, på östra delen av huset på plan 53, var den genomsnittliga argongaskoncentrationen ca 77,8 % medan argongaskoncentrationen i de andra väderstreck var 28 %, 23 % och 19 %. Huset är lite roterande så i praktiken kan väderstreck åt öst i byggnaden vara närmare nordost i praktiken.

Som en följd av resultatet ovan, vilket indikerar ett samband mellan riktning och kvarvarande prestanda, undersöktes även hur den dominerande vindlasten och dess fördelning ser ut. Då Fallstudie 2 ligger nära Jägersro – vilket är en mer skyddad plats - medan Fallstudie 3 ligger vid kusten i Malmö så har två olika mätstationer använts i jämförelsen. I Figur 6 illustreras vindriktning och hastighet för Malmö (Jägersro) och Falsterbo (vid kusten) genom vindrosor. Figuren visar att den största vindbelastningen i Malmö (och även Falsterbo) kommer från väst- och sydvästliga vindar. Vid en jämförelse av vindrosorna och fördelningen av argonkoncentrationen i olika väderstreck för fönstrena på plan 53, kan man se att de fönster med en högre argonkoncentration verkar sammanfalla med de riktningar som inte är lika vindutsatta (d.v.s. Öst-Nordost).



Figur 6: Vindrosor för Malmö och Falsterbo. Observera att Malmös mätstation ligger vid Jägersro (inland) och Falsterbos väderstation ligger vid kusten. <https://www.smhi.se/kunskapsbanken/klimat/sveriges-klimat/vind-i-sverige-1.31309>

4 Diskussion och slutsats

Enligt litteraturstudien, finns det en risk att gasfyllning läcker snabbare än vad som anges i den europeiska standarden SS-EN 1279-3 2018. I flera studier påvisas en variation av argongaskoncentrationen i två- och treglasfönster som har testats i laboratorier där åldringsprocessen har forcerats. Resultaten i dessa studier var blandade, med vissa studier som visar att gas läcker ut långsammare än standarden förespråkar, och andra studier som visar att flera fönster inte var helt täta, och att några fönster helt hade tappat sitt argongasinnehåll.

Åldringsprocessen i dessa studier utfördes i en kontrollerad miljö med förseglade kammare där fönstren utsattes för cykliska temperaturvariationer. Men de utsattes inte för mekaniska krafter som öppning och stängning av fönstret, vindlast, jordbävningar eller strukturella rörelser. Dessa begränsningar i litteraturen medförde ett behov av en mer verklighetsbaserad studie av fönster, som har använts och som har utsatts för olika påfrestningar såsom vindtryck, termisk variation, snö, regn, mekaniska krafter, etcetera

Den genomförda fältundersökningen gav resultat att reflektera över. Av fallstudie 1 verkar det som att fönstren har tillverkats, fraktats och monterats korrekt eftersom det inte fanns någon väsentlig minskning av argongaskoncentrationen överlag. Resultaten från fallstudie 1 tyder på att tillverkning, transport, leverans och placering inte utgöra en allvarligt risk för reducerad argongaskoncentration i fönstren då dessa hade samma gaskoncentrationsnivå som nyproducerade fönster. De enda glaspartier som hade en väsentlig minskning av gaskoncentration var glasdörrarna. Detta kan indikera en korrelation mellan mekaniska påfrestningar orsakade av öppning och stängning, och förlust av argongas.

Från fallstudie 2 kan man observera att fönstren som vetter mot den ventilerade glasridåväggen i den södra fasaden inte hade någon märkbar reduktion av gasikoncentration. Endast glasdörren i hörnet hade liknande reduktion som de andra fönstren i byggnaden och hade en gaskoncentration på cirka 80 %. Denna nivå är betydligt högre än de låga nivåer som uppmättes i glasdörrarna i fallstudie 1, men det ska noteras att denna glasdörr endast används när fönsterrengöring och underhåll utförs (ca fyra gånger om året). Detta kan vara en indikation på att vindströmmar och mekaniska påfrestningar har en stark inverkan på argongaskoncentrationen i fönstren över tid. Detta skulle förklara varför fönstren i den södra, ventilerade fasaden, inte hade någon väsentlig förlust av argongas och också varför glasdörren i samma fasad hade reducerad gaskoncentration.

Resultaten från fallstudie 3 är svårare att analysera på grund av byggnadens utformning. Uppmätta data visar att det finns en korrelation mellan fönstrets orientering och byggnadens höjd i detta fall. När det gäller fönsterkassetter längst upp i byggnaden, visar mätningarna att fönster i det mest skyddade

väderstrecket hade högst gaskoncentration medan det mest vindutsatt väderstrecket hade mycket lägre gaskoncentration. De små fönstren som kan öppnas har ett tydligt mönster av total gasförlust, medan de andra fönstren läcker på ett mycket slumpmässigt sätt.

Längst ner i byggnaden förväntas mindre vindbelastning då omkringliggande byggnader skyddar huset. Samtidigt finns det en större risk för mekanisk påverkan av hela husets rörelse på grund av vind då huskroppen har en rotationspunkt vid koppling mellan huskroppen och marken (fundament). I detta fall hade de flesta fönster en låg argonkoncentration. Det kan också observeras att det inte fanns några fönster som hade nivåer över 85 %, som man kunde förvänta sig utifrån vad som står i den Europeiska standarden SS-EN 1279-3 2018.

Resultatet från fältundersökningen indikerar att den mekaniska rörelsen orsakad av vindtryck och mekanisk åverkan som orsakas av öppning och stängning har inverkan på argongasreduktionen i fönsterrutorna. De södra fasadfönstren med glasfasad bör ha större temperaturvariationer än de andra fasaderna, men inte samma vindbelastning på grund av skyddet från glasridåfasaden.

Det är viktigt att tydliggöra att denna studie inte kunnat verifiera den ursprungliga argonhalten genom mätning då studien inte påbörjats när fönstermontaget genomfördes. Fallstudien 1 tyder på att det inte sker någon större förlust på initiala gasinnehållet i fönster, men vid de andra fallstudierna var de uppmätta värdena lägre än den förväntade reduktionen. En framtida studie kan fokusera på fallstudie 1 och analysera gasinnehållet efter olika lång tid för samma fönster som analyseras i denna rapport, och utvärdera hur koncentrationen av argongas avtar över tid. Det är inte möjligt att utifrån denna studie avgöra om minskningen är linjär, exponentiell, logaritmisk eller en blandning av dessa kurvor. Det är inte heller möjligt att avgöra om reduktionen är konstant eller varierar över tid.

För att kvalitetssäkra leveranser av fönster innan montage skulle denna metod för mätning och verifiering av prestanda kunna användas. Det är i nuläget okänt hur omfattande detta problem är eller om det skulle vara kostnadseffektivt, men på motsvarande sätt som att fuktkänsliga material skall mätas och kontrolleras bör även denna typ av mekaniskt känsliga produkter kontrolleras för skador.

Ur ett hållbarhetsperspektiv är det svårt att motivera återanvändning av gamla fönster/fönsterkassetter om gasen reduceras snabbare än förväntat. Det finns två förslag på hur mycket U-värdet av en fönsterkassett försämras när den är helt tömd ($0,4 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ enligt (SIS Swedish Standards Institute, 2018) och $0,2 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ enligt (Asphaug *et al.*, 2016)), fast båda är beräknade. Det behövs undersökas närmare hur mycket sämre olika fönster blir utan sin gas genom att göra mätningar av U-värde i ett laboratorium.

Det skulle även vara intressant att undersöka möjligheten att tillverka glaskassetter som kan återfyllas med argongas, eller annan gas som ger ännu lägre transmittans-värden, så som xenon och krypton. Detta kan leda till lägre renoveringskostnader som är relaterade till byte av fönster efter kort tid på grund av bristande prestanda av fönsters isoleringsförmåga. Att med några års mellanrum fylla på gasen igen, skulle kunna säkerställa en optimal isolering av byggnaden med besparingar från energianvändningen för uppvärmning och kylning och samtidigt minska utsläpp av växthusgaser till atmosfären.

5 Framtida arbete

Denna rapport indikerar att fönsterkassetter i nordiskt klimat har högre reduktion av argongas koncentration än vad standarden föreskriver, trots att fönstrena har klarat sina artificiella åldringsprov. Resultaten tyder även på att fasta fönsterkassetter eventuellt kan återanvändas då de behåller en större andel av gasen, men man måste kontrollmäta att det finns gas kvar. Det är därför intressant att närmare undersöka följande:

- Är det ekonomisk/miljömässigt försvarbart att återanvända äldre kassetter som har eller inte har behållit sin förväntade prestanda?
 - Finns det möjligheter att täta och återfylla de kassetter som inte behållit sin prestanda?
 - Blir det då ekonomiskt eller miljömässigt försvarbart med återanvändning av material?
- Vad krävs för att förbereda framtida fönsterprodukter för återbruk?
- Litteraturstudien visar att det finns två olika siffror på hur mycket U-värdet försämras då gasen är tömd och båda var beräknade. Hur stort är det i verkligheten? Hur mycket kommer det att påverka byggnaders energiprestanda?

6 Referenser

Asphaug, S. K. *et al.* (2016) 'Accelerated ageing and durability of double-glazed sealed insulating window panes and impact on heating demand in buildings', *Energy and Buildings*. Elsevier B.V., 116, pp. 395–402. doi: 10.1016/j.enbuild.2016.01.015.

Christiansen, T. (1983) *Levetid for gasfyldte isoleringsruder. (Lifetime of gas-filled sealed glazing units)*. Århus, Danmark.

Knudsen, T. and Jensen, C. (2000) *Long-term tightness of gas-filled insulating glass units*. Århus, Denmark: DTI.

Olsson-Jonsson, A. (2005) 'Energy-efficient windows – for how long? Gas concentration in sealed glazing units', *Proceedings of the 7th Symposium on Building Physics in the Nordic Countries*, pp. 1–6.

SIS Swedish Standards Institute (2018) 'SS-EN 1279-3:2018 Glass in building - Insulating glass units - Part 3: Long term test method and requirements for gas leakage rate and for gas concentration tolerances'. SIS Swedish Standards Institute.



LÅGAN (program för byggnader med mycket LÅG energiANvändning) är ett samarbete mellan Energimyndigheten, Byggföretagen, Boverket, Västra Götalandsregionen, Formas, byggherrar, entreprenörer och konsulter med syfte att öka byggtakten av lågenergibygnader.

www.laganbygg.se

