

Dimensionering av glasbalkar



LUNDS
UNIVERSITET

Lunds Tekniska Högskola

LTH Ingenjörshögskolan vid Campus Helsingborg
Institution för bygghälsökaper

Examensarbete:
Lukasz Jaskiewicz
Per Nyström

© Copyright Lukasz Jaskiewicz, Per Nyström

LTH Ingenjörshögskolan vid Campus Helsingborg
Lunds universitet
Box 882
251 08 Helsingborg

LTH School of Engineering
Lund University
Box 882
SE-251 08 Helsingborg
Sweden

Tryckt i Sverige
Media-Tryck
Biblioteksdirektionen
Lunds universitet
Lund 2012

Sammanfattning

Avancerad användning av glas som konstruktionsmaterial i pelare och balkar har blivit allt vanligare de senaste åren. Detta arbete redogör för vilka metoder och normer som kan användas för att dimensionera glasbalkar i bärande konstruktioner och vilken typ av glasbalk som är lämpligast ur hållfasthets och säkerhets synpunkt.

Tidigare har glaset mest använts i fönster där det inte har haft en bärande roll och därför finns det inte så mycket beräknings- och konstruktionsregler/normer eller erkända tekniska lösningar att tillgå som för andra, traditionella konstruktionsmaterial. Det pågår dock arbete i Europa att ta fram dessa. Beräkningsmetoden som används i detta arbete baseras på erkända eurokoder och på prestandan; prEN 13474 – 3 ”Glass in building - Determination of the strength of glass panes - Part 3: General method of calculation and determination of strength of glass by testing” [6].

Glas är ett fast material som är amorft och har en oordnad molekylstruktur som gör att ljus kan passera och man kan se igenom det. Glaset smälts ihop av huvudsakligen sand, soda, kalksten, dolomit samt oxider och stelnar utan att kristallera vilket gör att det blir hårt, sprött och chockkänsligt. Materialet har bra kemisk beständighet och står emot de flesta syror förutom fluorvätesyra men är även känsligt för alkaliska lösningar. Vid för höga belastningar spricker glas utan att genomgå någon plastisk deformation vilket innebär att dess förmåga att klara av punktlaster är sämre än för andra material då lastkoncentrationen inte kan utbreda sig över en större yta genom plastisk deformation.

Det kan konstateras utifrån resultaten av beräkningarna att dimensionerna på glasbalkarna i stor utsträckning beror på typer av glas som balkarna är uppbyggda av samt deras utformning. En klar fördel med laminerade balkar att den inre bärande skivan skyddas av de yttersta vilket gör att just denna lösningen kan vara att föredra. Laminerat värmeförstärkt glas har lägst hållfasthet vilket resulterar i att balkarna får de största dimensionerna i jämförelsen. Härdat glas har högst hållfasthet och det kan konstateras att just denna typ är lämpligast ur säkerhetssynpunkt, med avseende på skärskador. Glaset granulerar dock vid brottet vilket drastiskt nedsätter balkens förmåga att bära upp laster, vilket bör beaktas. Värmeförstärkt glas med underkantsarmering av stål är en kombination som ger ett litet tvärsnitt och som teoretiskt bör kunna säkra strukturen vid brott.

Nyckelord: bärande , lamellglas, laminerat glas, värmeförstärkt, härdat, glas, planglas, floatglas, glasbalkar

Abstract

Advanced use of glass as a construction material in columns and beams has become more common in recent years. This paper describes the methods and standards that can be used for designing glass beams in load bearing structures and what type of the glass beam is that most suitable from strength and safety point of view.

Earlier glass has mostly been used in windows, and for this reason, there are not many calculation and design codes/standards or acknowledged technical solutions available as for other traditional construction materials. The steps, however, have been taken in Europe to develop these. Calculation methods used in this thesis are based on well-recognized Eurocodes and the prestandard; prEN 13474-3 "Glass in building - Determination of the strength of glass panes - Part 3: General method of calculation and determination of strength of ice by testing"

Glass is a solid material that is amorphous and has a disordered molecular structure which allows light to pass through it. Glass is fused together by mainly sand, soda, ash, limestone, dolomite and oxides and solidifies without crystallizing, which makes it hard, brittle and shock sensitive. Material has good chemical resistance and is resistant to most acids except hydrofluoric acid and is also sensitive to alkaline solutions. Glass cracks under too heavy loads without undergoing plastic deformation, which means its ability to withstand point loads is worse than other materials as the load concentration can not be spread out over a larger area by plastic deformation.

It can be concluded from the results of the calculations that the dimensions of the glass beams depend, to a large extent, on the type of glass which glass beams are made of and their design. A clear advantage of laminated beams is that the internal load-carrying glass sheet is protected by the outer sheets which makes the solution most suitable. Laminated heat strengthened glass has the lowest bending tensile strength which results in relatively big dimensions. Tempered glass has the highest strength and it can be stated that this type is most appropriate from a safety perspective. However, the glass granules which drastically reduce the beams' capability to support the loads after it breaks, what should be always taken into consideration. Heat strengthened glass with bottom reinforced steel seems to be the best combination.

Keywords: structural, laminated glass, heat strengthened glass, annealed glass, float glass, tempered glass, glassbeams

Förord

Detta examensarbete är den avslutande delen i högskoleingenjörsprogrammet Byggt teknik med arkitektur på Lunds tekniska högskola och utgör 22.5 hp. Examensarbetet har utförts på Institutionen för byggvetenskaper under våren 2012 i samarbete med konsultföretaget COWI i Malmö som föreslog ämnet vi valt att skriva om.

Vi vill tacka våra handledare, Kent Persson vid LTH för sitt engagemang och värdefulla råd. Vi tackar även Roberto Caprile, vår externa handledare på COWI som tillhandahållit oss de ritningar vi haft som verkligt exempel i arbetet. Tack också till vår examinator Lars Sentler, som har gett oss tips och råd.

Lund, maj 2012

Lukasz Jaskiewicz och Per Nyström

Innehållsförteckning

1 Inledning	2
1.1 Bakgrund	2
1.2 Syfte och målsättning	2
1.3 Frågeställningar	3
1.4 Avgränsningar	3
2 Glas som konstruktionsmaterial	4
2.1 Allmänt om glas	4
2.2 Glasets egenskaper	4
2.2.1 Densitet	4
2.2.2 Värmetekniska egenskaper	5
2.2.3 Beständighet	5
2.2.4 Optiska egenskaper	5
2.2.5 Hållfasthet	6
2.3 Typer av glas	7
2.3.1 Planglas (floatglas)	7
2.3.2 Termiskt härdat glas	8
2.3.3 Värmeförstärkt glas	9
2.3.4 Laminerat glas	9
3 Formler för dimensionering av glasbalkar	11
3.1 Eurokod och pre-standard prEN 13474–3	11
3.2 Grundläggande formler	11
3.3 Laster	12
3.3.1 Snölast	12
3.4 Lastkombinationer	13
3.4.1 Lastkombination i brottgränstillståndet	13
3.4.2 Lastkombination i bruksgränstillståndet	13
3.5 Samband mellan moment och dragkraft	14
3.6 Böjmomentkapacitet för värmebehandlat glas	14
3.7 Sammansättning av formler	17
4 Beräkningar	18
4.1 Referensobjekt	18
4.2 Metoden	19
4.3 Allmänna förutsättningar	19
4.4 Dimensionering av balkar	20
4.4.1 Fall 1, Värmeförstärkt glas	20
4.4.2 Fall 2, Härdat glas	26
4.4.3 Fall 3, Stålförstärkt värmeförstärkt glas	31
5 Resultat och diskussion	37
5.1 Resultat	37

5.2 Val av dimensioner och avstånd	37
5.3 Säkerhet	38
5.4 Pre-standardens tillförlitlighet.....	39
6 Slutsatser.....	39
6.1 Andra tänkbara säkerhetsmässiga lösningar.....	40
6.2 Vidare studier och förslag på ämnen för vidareutveckling av detta examensarbetet.....	40
7 Referenser	41
Bilaga 1	43

Teckenförklaring

A – balkens tvärsnittsarea [m^2]

A_s – stålförstärkningens area [m^2]

b – tvärsnittets bredd [m]

C_e – exponeringsfaktorn

C_t – termisk koefficient

d – glasskivornas tjocklek [m]

$E_{ULS;i}$ – effekt av den dominanta lasten i brottgränstillståndet [kN/m^2]

$E_{ULS;G}$ – effekt av en permanent last i brottgränstillståndet [kN/m^2]

$E_{ULS;i}$ – effekt av en icke-dominant last i brottgränstillståndet [kN/m^2]

F_d – dragkraft [kN]

$f_{b;k}$ – karaktäristisk böjdraghållfasthet för värmebehandlat glas [kN/m^2]

$f_{g;d}$ – designhållfasthet [kN/m^2]

$f_{g;k}$ – karaktäristisk böjdraghållfasthet för floatglas [kN/m^2]

g_k – permanent last [kN/m]

h – tvärsnittets höjd [m]

$k_{mod;i}$ – korrektionsfaktor som tar hänsyn till inverkan av dominerande lastvaraktighet

$k_{mod;c}$ – korrektionsfaktor som tar hänsyn till inverkan av lastvaraktighet

$k_{mod;G}$ – korrektionsfaktor som tar hänsyn till inverkan av permanent lastvaraktighet

$k_{mod;i}$ – korrektionsfaktor som tar hänsyn till inverkan av icke-dominerande lastvaraktighet

k_{sp} – faktor för glasets ytprofil

k_v – härdningsfaktor

L – lutande längd [m]

L_H – horisontell längd [m]

M – böjmoment [kNm]

q_k – variabel last [kN/m^2]

s – snölast [kN/m^2]

s_k – snölastens grundvärde på mark [kN/m^2]

v – nedböjning [m]

W – böjmotstånd [m^3]

δ – glasets densitet [kN/m^3]

σ – normalspänning [MPa]

μ_i – formfaktor

γ_d – säkerhetsfaktor

$\gamma_{M;A}$ – material partialkoefficient för floatglas

$\gamma_{M;V}$ – material partialkoefficient för värmebehandlade glas

1 Inledning

1.1 Bakgrund

Det har blivit allt vanligare att använda glas som konstruktionsmaterial för byggnader i pelare, balkar och skivor. Framförallt är det önskvärt att utnyttja glasets transparens som ger luftiga konstruktioner med stort ljusinsläpp. Glas har tidigare mest använts i fönster där det inte har haft en bärande roll och därför finns det inte så mycket beräknings- och konstruktionsregler/normer att tillgå som för andra, traditionella konstruktionsmaterial. Inspiration till ämnet har erhållits från företaget COWI. De ser en ökning av användning av glas som konstruktionsmaterial och har känt ett behov av att utveckla beräkningsmetoder för glas. Författarna till denna rapport har studerat bärande glasbalkar i tak samt utvecklat en metod för att beräkna dess hållfasthet. Takbalkarna i en existerande byggnad ska i arbetet dimensioneras i ett beräkningsexempel med olika typlösningar. Byggnaden är en parkeringsgarageentré, placerad på parkeringen utanför Mobilia köpcenters norra entré i Malmö.

1.2 Syfte och målsättning

Syftet med detta examensarbete är att öka intresset för glas i bärande konstruktioner och kunskapen om dimensioneringstal som används, samt hur man dimensionerar glas. Arbetet syftar främst till att undersöka metoder för att dimensionera glasbalkar i bärande konstruktioner och vilken typ av glasbalk som är lämpligast ur hållfasthets/ funktions/ säkerhetssynpunkt.

Detta examensarbete har som målsättning att beskriva vad som är viktigt att veta om glas i strukturellt sammanhang och beskriva en metod för att dimensionera balkar av glas. Målet är också att hitta värden som kan användas för beräkningarna.

1.3 Frågeställningar

- Vilka hållfasthets-data används för dimensionering av glas?
- Vilken metod kan då användas för att beräkna balkkonstruktioner av glas?
- Hur kan glasbalkar utformas, beroende på om man väljer värmeförstärkt, härdat eller stålförstärkt värmebehandlat glas?
- Är värmeförstärkt, härdat glas stålförstärkt värmebehandlat glas lämpligast ur hållfasthets/ funktions/ säkerhetssynpunkt?

1.4 Avgränsningar

I detta examensarbete behandlas ej brandtekniska frågor eller möjliga infästningsmetoder vid upplagen. Det används plastskikt mellan glasen vid lamineringen, men denna studie behandlar inte vilken typ av plastskikt som är lämpligast. Arbetet tar inte hänsyn till vilken typkonstruktion som är ekonomiskt mest försvarbar i utvärderingen av alternativen.

I beräkningsdelen finns det ett separat avsnitt för de beräkningsmässiga avsteg som görs, såsom att hänsyn till vindlast ej tas m.m.

I denna studie har det valts att inte dimensionera balkar av floatglas eftersom denna typ av glas normalt inte används i bärande konstruktioner. Floatglasets böjdraghållfasthet är tidsberoende och går mot noll då tiden går mot oändligheten vilket innebär att balkar kommer att gå sönder förr eller senare. Dessutom skulle floatglasets låga böjdraghållfasthet resultera i att balkarna får enorma dimensioner och skulle göra dem praktiskt taget oanvändbara i bärande konstruktioner.

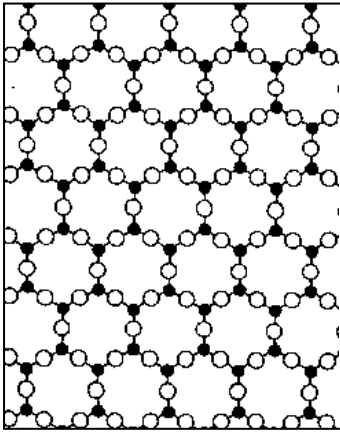
Pre-standarden som används i denna studie saknar, enligt författarna till denna rapport, tydliga förklaringar till de ekvationer och koefficienter som föreslås vilket medför att de kan tolkas och användas på fel sätt. Det framgår inte direkt om ekvationerna som pre-standarden innehåller, får användas vid dimensionering av glasbalkar i bärande konstruktioner och bör.

2 Glas som konstruktionsmaterial

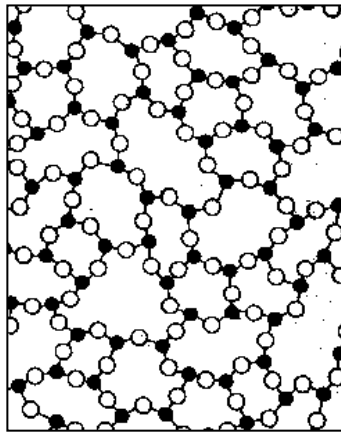
2.1 Allmänt om glas

Glas är ett fast material som är amorft och har en oordnad molekyelstruktur som gör att ljus kan passera och man kan se igenom det. Glaset smälts ihop av huvudsakligen sand, soda, kalksten, dolomit samt oxider och stelnar utan att kristallera vilket gör att det blir hårt, sprött och chockkänsligt.

För att ändra glasets funktion för olika tillämpningar kan man styra dess egenskaper genom lämpligt val av bildande ämnen eller tillsättning av olika medel. Kombination av oxider, så kallade glasbildare kan exempelvis ändra materialets färg eller även göra att det kommer att skydda mot UV-strålning. Beroende på glasets sammansättning skiljer man mellan bl. a. sodaglas, borosilikatsglas och kvartsglas [5, 3, d1].



Figur 1: Idealiserad molekyelstruktur hos ett kristalliserat material [3].



Figur 2: Molekyelstruktur i kvartsglas [3].

2.2 Glasets egenskaper

2.2.1 Densitet

Glasets massiva densitet varierar mellan 2200-3000 kg/m³ beroende på sammansättningens procentandel metalloxider. Normalt används glas med densitet 2500 kg/m³ som konstruktionsglas i byggsammanhang [1].

Densitet	
Kvartsglas	2200 kg/m ³
Sodaglas	2500 kg/m ³
Kristall	2600 kg /m ³
Helkristall med 30% blyhalt	3000 kg/m ³

Tabell 1: Glasets densitet [3].

2.2.2 Värmetekniska egenskaper

Glas har en nästan linjär värmeutvidning upp till transformationsintervallet då det går från sprött till plastiskt tillstånd. För vanligt floatglas sker detta vid mellan 520 och 550°C. Generellt sett klarar glas större temperaturväxlingar från kallt till varmt, än från varmt till kallt. Vid snabb uppvärmning bildas tryckspänningar i glasets ytskikt och vid kylning bildas motsvarande dragspänningar. Glas har cirka tio gånger lägre draghållfasthet som tryckhållfasthet och därför bildas dragspänningarna [1].

Värmetekniska egenskaper

Längdutvidningskoefficient	$9 \cdot 10^{-6} \text{ 1/K}$
Specifik värmekapacitet	$720 \text{ J/kg} \cdot \text{K}$
Värmekonduktivitet	$1 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$

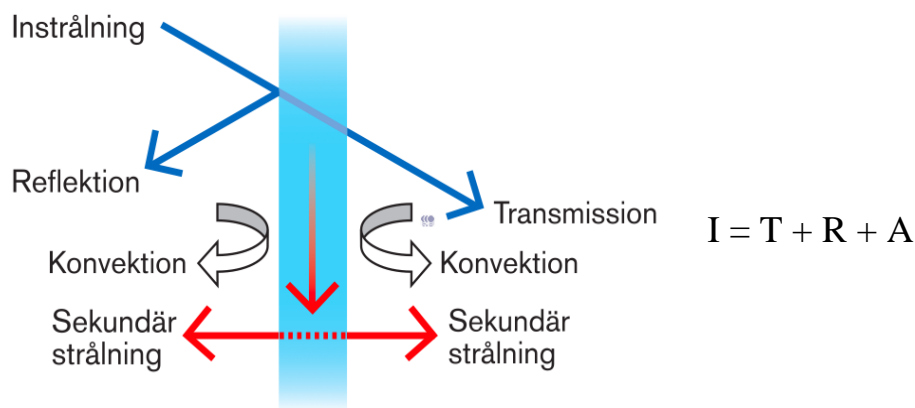
Tabell 2: Glasets värmetekniska egenskaper

2.2.3 Beständighet

Glas har bra kemisk beständighet och står emot de flesta syror förutom fluorvätesyra men är även känsligt för alkaliska lösningar. Då glasytan kommer i kontakt med syrorna och även vanligt vatten utlöses ämnen i form av alkali från dess yta. För glas som används utvändigt och är utsatt för regnvatten spolas dessa ämnen bort av regnvattnet vilket i sin tur ger upphov till bildning av en film av svårösligt kiselhydrat på glasets yta. Ytfilmen motverkar vidare angrepp men startar reaktionen mellan fluorvätesyra och kiseldioxiden i glaset vilket bryter ned glasets nätverk. Fluorföreningar kan ge en etsande effekt och därför används denna syra vid estning av glas. Alkaliska lösningar angriper kiseldioxidens nätverk och vid långvarig kontakt med glas bryts själva nätverket ned. Som följd bildas lösliga alkalisilikat vilket medför att glaset tappar sin transparens. Denna process kan ta fart om glas kommer i direkt kontakt med betong som är alkalihaltig eller med regnvatten som rinner från cementrika konstruktionselement. Därför är det viktigt att skydda glaset från kontakt med sådant regnvatten speciellt när det gäller nya konstruktioner. Reaktion kan även starta med vatten som under en tid blir instängt mellan två glas i kontakt med alkalihaltigt material [1, 5].

2.2.4 Optiska egenskaper

När strålning, I , når en glasyta transmitteras en del av strålningen, medan en del reflekteras och resten absorberas av materialet. Beteckningen sätts efter första bokstaven, dvs T, respektive R och A. Det allmänna sambandet mellan strålningen och glasets absorption illustreras i figur 3:



Figur 3: Absorbtion i glaset [r1].

Storleken på T, R och A varierar beroende på typ och tjocklek på glasmaterialet samt strålningens våglängd. Strålningen som absorberas värmer upp glaset och avges sedan som sekundär strålning. I de olika sammansättningarna av glas kan detta utnyttjas på olika sätt. För vanligt floatglas är transmissionen hög och både det reflekterade och transmitterade ljuset är relativt färgneutralt. Modifiering av glaset med tillsatser, tunn beläggning eller i själva glasmassan kan påverka den reflekterade och transmitterade strålningen betydligt och som konsekvens även ljusets upplevelse. Exempelvis kan glaset som innehåller mer metalloxider upplevas blått eller grönt på grund av att absorbtionen i själva glaset, och den sekundära strålningen blir större vilket påverkar strålningens färg. Användning av färgat eller reflekterande glas kan orsaka temperaturspänningar i glaset på grund av ojämn uppvärmning och i värsta fall leda till att det spricker [1, 5, r3].

2.2.5 Hållfasthet

När det gäller glasets hållfasthet är det nödvändigt att beakta materialets defekter då deras närvaro har en stor inverkan på spänningskoncentrationer och därmed materialets draghållfasthet. Dessa defekter är huvudsakligen sprickor vars förekomst nära dragzonen anses vara speciellt farlig. Risken för defekter ökar då glasets yta ökar och därför blir glasets hållfasthet lägre ju större ytan blir.

Glas är också väldigt känslig för mekanisk påverkan både under tillverkningsprocessen och under hela livslängden. Detta, tillsammans med förekomsten av ovannämnda defekter kan nedsätta drastiskt materialets lastupptagande förmåga och gör det praktiskt taget omöjligt att teoretiskt förutsäga glasets exakta hållfasthet, eller klassificera det utifrån dess hållfasthetsegenskaper.

På grund av att glas är ett sprött material samt att det förekommer osynliga blåsor och mikrosprickor i dess yta som verkar som lokala spänningshöjare är

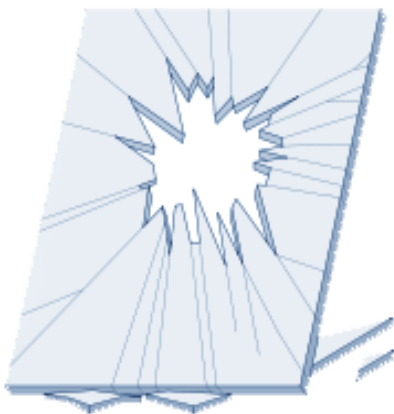
den praktiska hållfastheten mindre än 1% av den teoretiska. Statistiska metoder används för att kunna bestämma praktiskt tillämpbara hållfasthetsvärden men dessa är inga materialkonstanter utan anges som ”designvärden” som varierar mellan olika tillverkare beroende på förutsättningar.

Vid för höga belastningar spricker glaset utan att genomgå någon plastisk deformation vilket innebär att dess förmåga att klara av punktlaster är sämre än för andra material då lastkoncentrationen inte kan utbreda sig över en större yta genom plastisk deformation. Dessutom är glasets tryckhållfasthet högre än dess draghållfasthet och möjligheten att stå emot korttidslaster som till exempel vind är bättre än förmågan att klara varaktiga laster såsom snö. Om glaset belastas under lång tid eller över en viss belastningsnivå uppvisar det statisk utmattning och därför tål det korttidslaster bättre [5, r4, r3, r1].

2.3 Typer av glas

2.3.1 Planglas (floatglas)

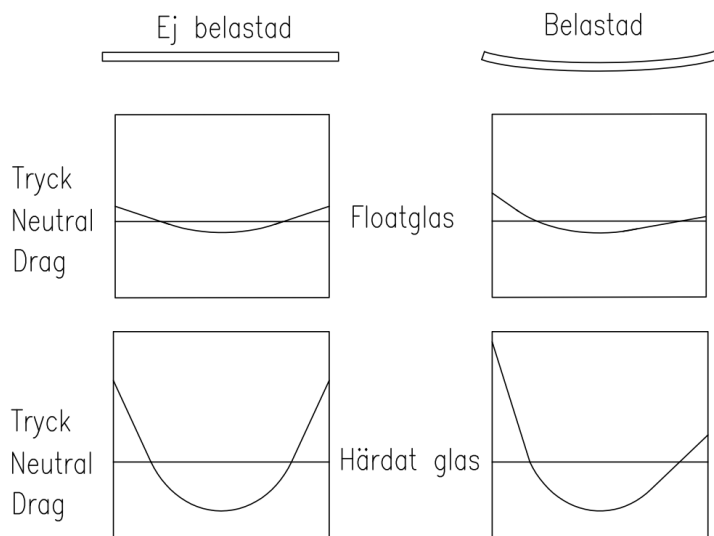
Floatglas fick sin benämning efter att planglas började tillverkas av Pilkington med floatprosen år 1958. Floatglaset tillverkas genom att glasmassan värms upp till 1050°C. Den upphättade massan får hög viskositet, bildar ett ändlöst band och flyter ut över ett tennbad där det svalnar långsamt. Av tillverkningstekniska skäl, d.v.s. för att kunna hantera glaset och förhindra det från att gå sönder på grund av sin egenvikt, skapas under kylningsprocessen spänningar på lite över 8 MPa i glasets yta. Materialets brottmönster som visas i figuren nedan gör att floatglas inte klassas som säkerhetsglas på grund av att när glaset spricker går det sönder i stora och vassa skärvor [d1, 5, 9].



Figur 4: Brottmönster för floatglas [d2].

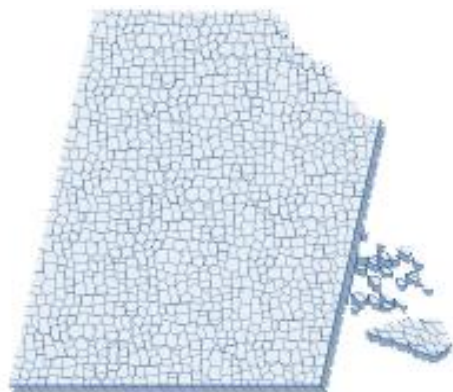
2.3.2 Termiskt härdat glas

Termisk härdning är en av de vanligaste metoderna för att förstärka och öka glasets böj- och draghållfasthet. Processen innebär att glasmassan värms upp till ca 600°C och kyls ner samtidigt på dess båda sidor med luft. På grund av att materialet är en dålig värmeledare bildas tryckspänningar i glasytan och dragspänningar i kärnan eftersom glasytan stelnar mycket snabbare och när kärnan krymper förhindras redan stelad yta från att dra ihop sig mera. Termisk härdning ökar glasets hållfasthet med 4-5 gånger.



Figur 5: Principskiss på tryckfördelning i float och härdatglas utan och med belastning.

Härdningsprocessen påverkar inte bara glasets hållfasthet utan också dess brottmönster. När det härdade glaset brister, spricker det inte utan granulerar vilket innebär att det faller isär i väldigt små, nästan kubiska och ofarliga glaspartiklar. På grund av dessa egenskaper klassas härdat glas som säkerhetsglas då risken för personskador oftast är väldigt liten när materialet går sönder. Termisk härdning gör inte glaset hårdare utan det repas lika lätt som vanligt glas. Härdat glas blir inte heller styvare än vanlig glas och böjer sig lika mycket vid lika belastningar. Det kan inte heller bearbetas vidare och därför måste all bearbetning göras före härdningsprocessen [3, 5].

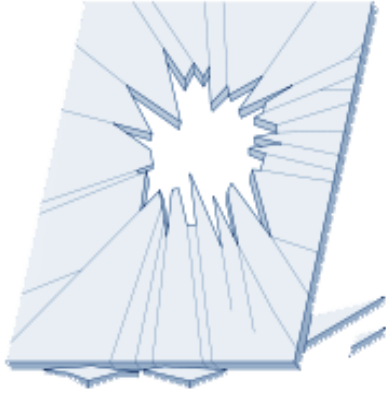


Figur 6: Brottmönster för härdat glas [d2].

2.3.3 Värmeförstärkt glas

Vid tillverkning av värmeförstärkt glas används samma metod som vid termisk härdning, men kylningen av glasprodukten sker långsammare och inte lika intensivt. Härigenom blir spänningarna som uppstår i glaset inte lika starka som i termiskt härdat glas och hållfastheten blir ungefär hälften av det härdade glasets.

Värmeförstärkt glas granulerar inte vid brottet och klassas därmed inte som säkerhetsglas. Glaset uppvisar liknande sprickmönster som vanligt floatglas och används såväl invändigt som utvändigt i glasfasader [3, R3].



Figur 7: Brottmönster för värmeförstärkt glas [d2].

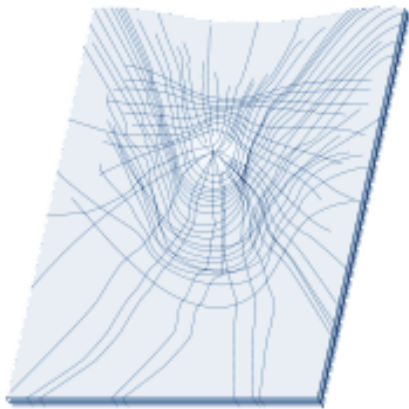
2.3.4 Laminerat glas

Laminerat glas, också kallat lamellglas består av två eller flera glasskivor som lamineras ihop med hjälp av plastfolie, oftast polyvinylbuturat (PVB).

Produkter pressas ihop och smälts samman under tryck vid hög temperatur i autoklav och på grund av att plastfolien har samma brytningsindex som glas blir laminerat glas lika genomskinligt som vanlig glas.

Lamineringsprocessen gör dock inte glaset starkare men har väldigt stor påverkan på dess brottmönster och säkerhetsnivå. Om glaslaminatet skadas, förblir det i sin infästning eftersom plastfolien håller glasbitarna på plats och förhindrar dem från att splittras. Eftersom glaslaminatet sitter ihop i ett stycke efter brottet blir risken för personskador väsentligt minimerad.

I motsats till termiskt härdat glas kan glaslaminatet skäras och bearbetas efter själva lamineringsprocessen. Glasets varierande egenskaper kan även utnyttjas genom att kombinera olika typer av glas [3, 5, r3].



Figur 8: Brottmönster för laminerat floatglas [d2].

3 Formler för dimensionering av glasbalkar

Detta kapitel innehåller de matematiska formler och ekvationer som används samt deras ursprung. Det innehåller också de formler som är sammansättningar av andra, som används i arbetet. Formlerna beskrivs kortfattat med syfte att göra det lätt att följa alla beräkningar vid dimensionering av glasbalkar i kommande kapitel.

3.1 Eurokod och pre-standard prEN 13474–3

Studiens beräkningar baseras på Eurokod 1 och på den ej ännu godkända europeiska pre-standarden prEN 13474 – 3 ”Glass in building - Determination of the strength of glass panes - Part 3: General method of calculation and determination of strength of glass by testing” [6]. Eurokoderna är en internationellt erkänd och accepterad samling av normer och standarder för beräkningsregler för dimensionering av bärverk som baseras på partialkoefficientmetoden. Detta innebär att ingående parametrarna (såsom lastvärden och hållfasthetsvärden) inte är slumpmässiga utan det finns redan bestämda parametervärden som fastställs genom sannoliktsteoretiska beräkningar och osäkerheter som finns vid beräkningarna korrigeras med olika typer av faktorer. Partialkoefficientmetoden, som Eurokoder baseras på, innebär att konstruktioner kontrolleras i brott- och brukgränstillstånd med syfte att avgöra om dessa är säkra mot brott och kommer att uppfylla ställda funktionskrav [d3].

3.2 Grundläggande formler

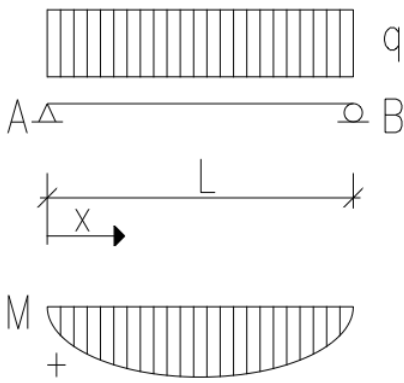
Strukturmekaniska formler som finns nedan antas vara grundläggande och välkända och därmed behöver dessa inte någon detaljerad förklaring. Ingående parametrar och dess enheter redovisas i teckenförklaring (sid 1).

$$v_{\max} = \frac{5qL^4}{384EI} \quad \text{för } x = 0,5L \quad \text{ekv. (1)}$$

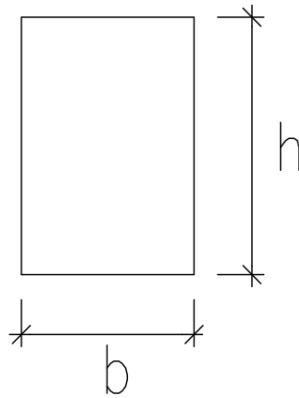
$$M_{\max} = \frac{qL^2}{8} \quad \text{för } x=0,5L \quad \text{ekv. (2)}$$

$$I = \frac{bh^3}{12} \quad \text{för rektangulärt tvärsnitt} \quad \text{ekv. (3)}$$

$$W = \frac{bh^2}{6} \quad \text{för rektangulärt tvärsnitt} \quad \text{ekv. (4)}$$



Figur 9: Belastningsfall [4].



Figur 10: Definition av b och h i ett rektangulärt tvärsnitt [4].

3.3 Laster

3.3.1 Snölast

Vid beräkning av snölast på tak används karakteristiskt värde vars ekvation ser ut på följande sätt:

$$s = \mu_i \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k \quad \text{ekv. (5)}$$

där

s_k = snölastens grundvärde på mark

μ_i = formfaktor som beror av takytans form och av risk för snöanhopning till följd av vind, ras och gliding

C_e = exponeringsfaktorn

C_t = termisk koefficient som beror av energiförluster genom taket (tabell 3)

Snölastens grundvärde, s_k , som varierar med snözon är lika med 1 kN/m^2 för Malmö kommun. Formfaktorn för snölast på tak sätts till 0,8 och exponeringsfaktorn till 1,0 då topografin där byggnaden befinner sig bestäms till normal [4].

Termisk koefficient, C_t , som beror på energiförluster genom taket hämtas från tabell 3. Inomhustemperaturen och U-värde på glasskivorna sätts till 10°C respektive $2,0\text{ W/m}^2\text{K}$ enligt uppgift av COWI, och det förutsätts gälla under byggnadens livslängd. Dessutom beräknas reduktionsfaktorn på värden som gäller för närmsta ort det finns värden för, Lund.

Termisk koefficient

Lund snözon 1.0

$$T^{50} = -7,40^{\circ}\text{C}$$

$$p_c^{50} = 85,4 \text{ mm vatten}$$

U^T	5°C	10°C	18°C
2 W/m ² C	$C_t = 71\%$	$C_t = 53\%$	$C_t = 26\%$

Tabell 3: Resultatöversikt av reduktionsfaktorer C_t [r2].

3.4 Lastkombinationer

3.4.1 Lastkombination i brottgränstillståndet

Lastkombination i STR (efter engelskans STRucture) brottgränstillståndet tar hänsyn till balkens inre brott eller för stor deformation och anges av ekvation nedan:

$$q_d = \gamma_d 1,2g_k + \gamma_d 1,5q_k \quad \text{ekv. (6)}$$

där

γ_d = partialkoefficienten för säkerhetsfaktorn

g_k = permanent last

q_k = variabel last

Partialkoefficienten beror på konsekvensen av brott och sätts i detta fall till 1,0 då hög risk för allvarliga personskador förekommer [4]. Koefficienten tillämpas för samtliga laster och är samma i alla beräkningsexempel.

3.4.2 Lastkombination i bruksgränstillståndet

Karakteristisk lastkombination i brukgränstillståndet som beskriver irreversibla gränstillstånd anges av följande ekvation:

$$q_d = 1,0g_k + 1,0q_k \quad \text{ekv. (7)}$$

Kvasi-permanent lastkombination i bruksgränstillståndet som beskriver långtidseffekter beskrivs av [4]:

$$q_d = 1,0q_k \quad \text{ekv. (8)}$$

där

g_k = permanent last

q_k = variabel last

3.5 Samband mellan moment och dragkraft

Sambandet mellan moment och den maximala dragkraften som uppstår mitt i balkens kant kan beskrivas enligt följande:

$$M_{ed} = F_d \cdot h \quad \text{ekv. (9)}$$

där

M_{ed} = dimensionerande böjmoment

F_d = dragkraft

h = tvärsnittets höjd

3.6 Böjmomentkapacitet för värmebehandlat glas

Momentkapacitet för ett konstruktionselement beror på materialets egenskaper samt böjmotstånd för det sammansatta tvärsnittet. För värmebehandlade glas anges böjmomentkapaciteten av följande ekvation [4]:

$$M_{rd} = f_{g;d} \cdot W \quad \text{ekv. (10)}$$

där

W = böjmotstånd

$f_{g;d}$ = designhållfasthet

Designhållfastheten för floatglas beror på ett antal olika faktorer, vilka det finns redan bestämda värden för, och dess ekvation enligt följande [6]:

$$f_{g;d} = \frac{k_{mod}k_{sp}f_{g;k}}{\gamma_{M;A}} + \frac{k_v(f_{b;k} - f_{g;k})}{\gamma_{M;v}} \quad \text{ekv. (11)}$$

där

$f_{g;k}$ = karaktäristisk böjdraghållfasthet för floatglas ($f_{g;k} = 45 \text{ N/mm}^2$)

$\gamma_{M;A}$ = partialkoefficient för floatglas (tabell 4)

k_{sp} = faktor för glasets ytprofil (tabell 5)

k_{mod} = lastvaraktighetsfaktor (tabell 6)

$\gamma_{M;v}$ = materialpartialkoefficient (tabell 4)

k_v = härdningsfaktor (tabell 7)

$f_{b;k}$ = karaktäristisk böjdraghållfasthet för värmebehandlat glas (tabell 8)

Materialpartialkoefficient

	Brottgränstillståndet	Bruksgränstillståndet
Floatglas	$\gamma_{M;A} = 1,8$	$\gamma_{M;A} = 1,0$
Värmebehandlade glas	$\gamma_{M;v} = 1,2$	$\gamma_{M;v} = 1,0$

Tabell 4: Rekommenderade värden för materialets partialkoefficient [6].

Glasprofil-faktor

Glasmaterial (vilken glaskomposition som helst)	som framställt	Sandblästrat
Floatglas	1,0	0,6

Tabell 5: Rekommenderade värden för glasprofil-faktor [6].

Lastvaraktighetsfaktor

Inverkan	Lastvaraktighet	k_{mod}
Snö	medel ⁽¹⁾	0,44
Egentyngd	permanent	0,29

Anmärkning (1). $k_{mod} = 0,44$ kan anses vara representativ för snölast mellan 1 vecka ($k_{mod} = 0,48$) och 3 månader ($k_{mod} = 0,41$). Andra värden på k_{mod} kan vara lämpliga beroende på lokala klimatet.

Tabell 6: Rekommenderade värden för lastvaraktighetsfaktor [6].

När kombination av laster med olika tidsvarighet inträffar räknas k_{mod} enligt följande [6]:

$$k_{mod;c} = \frac{E_{ULS;G} + E_{ULS;1} + \sum_i E_{ULS;i}}{\frac{E_{ULS;G}}{k_{mod;G}} + \frac{E_{ULS;1}}{k_{mod;1}} + \sum_i \frac{E_{ULS;i}}{k_{mod;i}}} \quad \text{ekv. (12)}$$

där

$k_{mod;c}$ – korrektionsfaktor som tar hänsyn till inverkan av lastvaraktighet

$k_{mod;G}$ – korrektionsfaktor som tar hänsyn till inverkan av permanent lastvaraktighet (tabell 6)

$k_{mod;1}$ – korrektionsfaktor som tar hänsyn till inverkan av dominerande lastvaraktighet (tabell 6)

$k_{mod;i}$ – korrektionsfaktor som tar hänsyn till inverkan av icke-dominerande lastvaraktighet (tabell 6)

$E_{ULS;1}$ – effekt av den dominanta lasten i brottgränstillståndet [kN/m²]

$E_{ULS;G}$ – effekt av en permanent last i brottgränstillståndet [kN/m²]

$E_{ULS;i}$ – effekt av en icke-dominant last i brottgränstillståndet [kN/m²]

Efter förenkling ser ekvationen ut på följande sätt:

$$k_{mod;c} = \frac{\frac{q_{d,egentyngd}L^2}{8W} + \frac{q_{d,snö}L^2}{8W}}{\frac{\frac{q_{d,egentyngd}L^2}{8W}}{k_{mod;G}} + \frac{\frac{q_{d,snö}L^2}{8W}}{k_{mod;1}}} = \frac{q_{d,egentyngd} + q_{d,snö}}{\frac{q_{d,egentyngd}}{k_{mod;G}} + \frac{q_{d,snö}}{k_{mod;1}}} \quad \text{ekv. (13)}$$

Härdningsfaktor

Tillverkningsprocess	k_v
Horisontell härdning (eller någon annan process utan användning av tänger eller andra anordningar för att hålla glaset)	1

Tabell 7: Rekommenderade värden för härdningsfaktor [6].

Karakteristiska hållfasthetsvärden $f_{b;k}$ för värmebehandlat glas

Härdat glas	Värmeförstärkt glas
120 N/mm ²	70 N/mm ²

Tabell 8: Karakteristiska hållfasthetsvärden för värmebehandlat glas [6].

3.7 Sammansättning av formler

Eftersom snölast är en variabel last som verkar horisontellt oavsett taktyp behöver den räknas om så att den verkar per lutande ytenhet. Inverkan av taklutningen måste också beaktas här. På grund av taklutningen som är 10° delas den ursprungliga lasten till två lastfall. Den ena är lasten vinkelrät mot balken och den andra är lasten parallell med den. Den last som infaller vinkelrätt mot balken ger upphov till bl. a. moment samt nedböjning kan beräknas utifrån den ursprungliga lasten genom att använda den trigonometriska formeln för cosinus. Den eftersträvade karakteristiska snölasten kan därmed erhållas genom att multiplicera ekv. (5) med $\cos(10^\circ)$ och med $\frac{L_H}{L}$:

$$q_k = s \cdot \frac{L_H}{L} \cdot \cos(10^\circ) \quad \text{ekv. (14)}$$

Kombination ekv. (13) med ekv. (6) möjliggör beräkning av korrektionsfaktorn, $k_{\text{mod};c}$:

$$k_{\text{mod};c} = \frac{\gamma_d^{1,2} g_k + \gamma_d^{1,5} q_k}{\frac{\gamma_d^{1,2} g_k}{k_{\text{mod};G}} + \frac{\gamma_d^{1,5} q_k}{k_{\text{mod};1}}} \quad \text{ekv. (15)}$$

Den maximala nedböjningen erhålles genom kombination av ekv. (1) och ekv. (3) som tillsammans ger:

$$v_{\text{max}} = \frac{5qL^4}{384EI} = \frac{5qL^4}{32Ebh^3} \quad \text{ekv. (16)}$$

där

q = dimensionerande last i brukgränstillståndet

L = balkens längd

E = Young's modul (approximativt 70 000 MPa)

b = tvärsnittets bredd

h = tvärsnittets höjd

4 Beräkningar

I detta kapitel redovisas beräkningar av dimensionering av glasbalkar i en entré till ett parkeringsgarage beläget på Mobilias norra parkering i Malmö. Takbalkarna är byggda med stål men i detta arbete ska de teoretiskt ersättas med glas.

Kapitlet omfattar tre förslag på olika glastakets balkutformning och beräkningar för respektive fall med målet att dimensionera glasbalkarna för de laster som de utsätts för. Takbalkar ska kontrolleras med avseende på böjmoment och nedböjning för att sedan jämföras och diskuteras. Beroende på glasets olika egenskaper och dess konsekvenser räknas olika c/c-avstånd på balkarna. Bredden sätts dock lika på alla balkar för att jämförelsen ska underlättas.

4.1 Referensobjekt

Parkeringsgarage-entrén som används i denna studie som referensobjekt finns i Malmö vid Mobilia shopping center. Objektets ramverk består av VKR-profiler med olika dimensioner som bär väggar och tak. Nedan visas bilder på objektets uppbyggnad där taket lutar 10 grader och spännvidden för takbalkarna är 4,83m.



Figur 11: Mobilia parkeringshus



Figur 12: Mobilia parkeringshus inuti



Figur 13: Hissvägg

4.2 Metoden

Ett program är skrivet för Microsoft Excel. Med hjälp av Excel's funktioner har beräkningarna vid dimensioneringen av glasbalkarna utförts. I programmet har samtliga ekvationer, som redovisas i nästkommande underkapitel, skapats som funktioner i Excel för att snabbt kunna hitta de optimala dimensionerna. Dessa har valts med målet att säkerhetsfaktorn för böjdragshållfasthet i de alla fallen skall hamna så nära 1 som möjligt. I sista fallet används stålförstärkning i tvärsnittets dragsida (underkant). Därefter testas vilken stålqualität som krävs för att uppnå samma draghållfasthet.

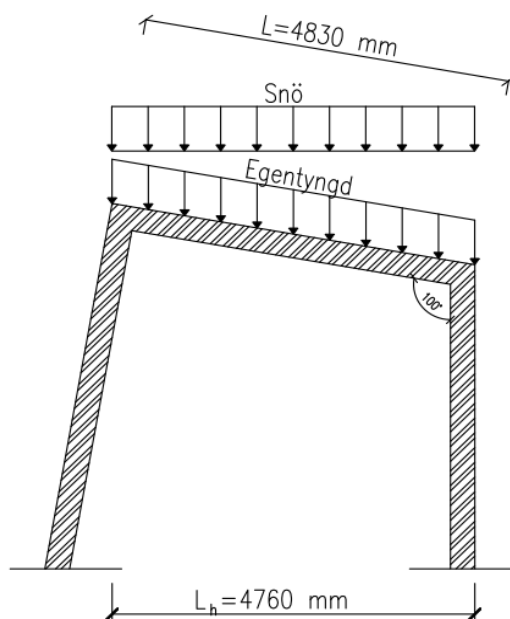
4.3 Allmänna förutsättningar

Vindlasten och dess inverkan på konstruktionen beaktas inte i dessa exempel. Samtliga laster; glasskivornas och takbalkarnas egentyngd samt snölast anses vara jämnt fördelade. Dessutom antas det att snölast inte påverkas av snödrift. Takbalkarna anses vara monterade och upplagda på sådant sätt att höga spänningskoncentrationer vid upplagen undviks. De antas fungera på samma sätt som fritt upplagda balkar. Dessutom förutsätts det att de är stagade mot vridning genom att vara inspända i taksnivåerna och att ingen buckling eller vippning förekommer.

Det förutsätts även att glaslaminatet inte har någon negativ påverkan på balkarnas hållfasthet. De laminerade balkarna betraktas som homogent glas och därför utelämnas beräkningar av skjuvspänningar i limmet.

Beräkningar baseras på ritningar från COWI enligt principskissen nedan.

Takskivornas tjocklek är 0,018 m.



Figur 14: Egen principskiss på mått och verkande laster vid Mobilia parkeringsgarage-entrén baserad på Mobilia glasbyggnad (se Bilaga 1).

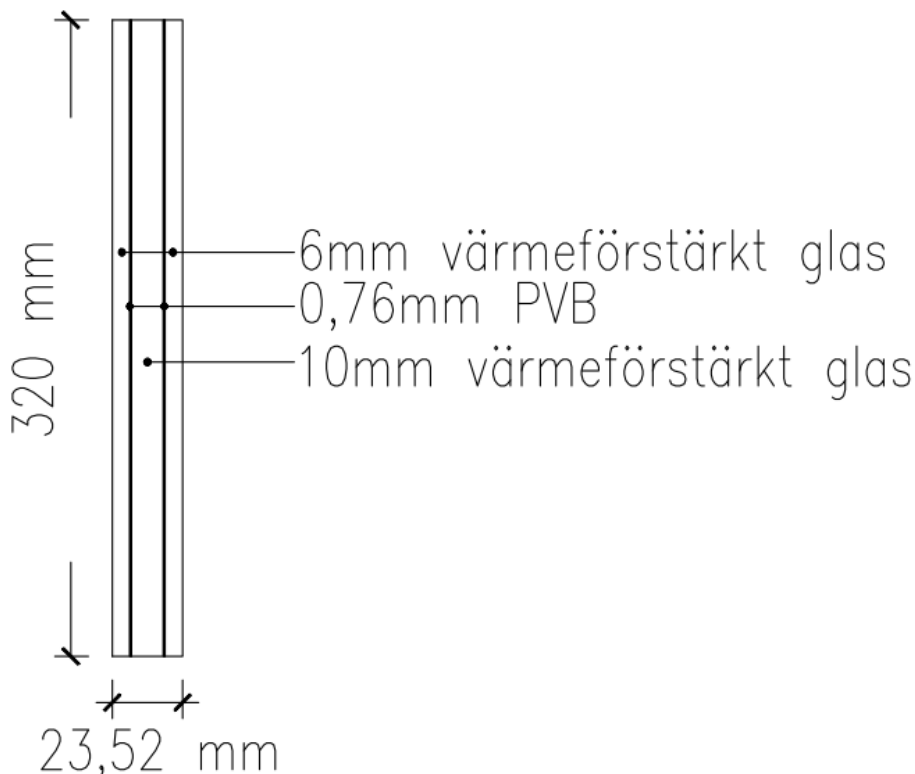
4.4 Dimensionering av balkar

Här beräknas tre olika fall. Beräkningsmodell från Excel har använts för att ta fram de lägsta höjderna på tvärsnittet vid den för alla fall gemensamma bredden 23,5 mm. Bredden har valts med hänsyn till en rad faktorer, som diskuteras i arbetets diskussionsdel. I beräkningarna används effektiv bredd, där limfogarna räknas bort från totalbredden. Då fås effektiva bredden 22 mm. Plastfolien kommer inte att hjälpa till att bära lasten, då det har andra hållfasthetsegenskaper.

4.4.1 Fall 1, Värmeförstärkt glas

Förutsättningar

I fall 1 består takbalkarna av tre värmeförstärkta skivor med dimensioner enligt figur 16. C/C – avståndet mellan balkarna sätts till 3 m och tvärsnittets area A, (baserad på effektiv bredd), beräknats till 0,007 m².



Figur 16: Principskiss på uppbyggnad och dimensioner av balk i fall 1.

Permanenta laster

Först ska den totala egentygden för glasbalkar och glasskivor som bygger upp taket beräknas. Glasskivornas tyngd multipliceras med c/c-avståndet så att samtliga egentygder kan summeras:

Indata	
δ - glasets densitet	25 kN/m ³
A - balkens tvärsnittsarean	0,007 m ²
d - glasskivornas tjocklek	0,018 m
c/c - avstånd mellan balkarna	3 m

$$g_k = 25 \cdot 0,007 + 25 \cdot 0,018 \cdot 3 = 1,52 \text{ kN/m}$$

Vid beräkning av takets egentygnd måste taklutningen beaktas. Inverkan av lutningen på den permanenta lasten beräknas genom multiplicering av lasten med $\cos(10^\circ)$:

$$g_k = 1,52 \cdot \cos(10^\circ) = 1,5 \text{ kN/m}$$

Snölast

Snölasten på taket beräknas enligt ekvation (5):

Indata	
μ_i	0,80
C_e	1,00
C_t	0,53
s_k	1,00 kN/m ²
L_H	4,76 m
L	4,83 m

$$s = \mu_i \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k = 0,8 \cdot 1,0 \cdot 0,53 \cdot 1,0 = 0,42 \text{ kN/m}^2$$

Ur ekvation (14) fås den karakteristiska snölasten:

$$q_k = s \cdot \frac{L_H}{L} \cdot \cos(10^\circ) = 0,41 \text{ kN/m}^2$$

C/C-avståndet mellan takbalkarna måste beaktas och den slutliga karakteristiska snölasten blir:

$$q_k = 0,41 \cdot 3 = 1,23 \text{ kN/m}$$

Dimensionerande last i brottgränstillståndet

Den totala dimensionerande lasten räknas enligt ekvation (6). Eftersom det bara finns en variabel last betraktas snölasten som huvudlast:

Indata	
γ_d	1
g_k	1,50 kN/m
q_k	1,23 kN/m

$$q_{d,tot} = \gamma_d 1,2 g_k + \gamma_d 1,5 q_k = 1,0 \cdot 1,2 \cdot 1,50 + 1,0 \cdot 1,5 \cdot 1,23 = 3,64 \text{ kN/m}$$

Böjmomentkapacitet

Momentkapacitet beror av glasets designhållfasthet, $f_{g,d}$, samt tvärsnittets böjmotstånd, W . Böjmotståndet som beror endast på materialets geometri räknas enligt ekvation (4):

Indata	
b	0,022 m
h	0,32 m

$$W = \frac{bh^2}{6} = \frac{0,022 \cdot 0,32^2}{6} = 3,75 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

För att kunna beräkna materialets designhållfasthet måste först koefficienten, k_{mod} , bestämmas. Eftersom en kombination av laster med olika tidsvarighet gäller i detta fall ska ett medelvärde för koefficienten enligt ekvation (15) räknas ut:

$$k_{mod;c} = \frac{\gamma_d 1,2 g_k + \gamma_d 1,5 q_k}{\frac{\gamma_d 1,2 g_k}{k_{mod;G}} + \frac{\gamma_d 1,5 q_k}{k_{mod;1}}} = \frac{1,0 \cdot 1,2 \cdot 1,50 + 1,0 \cdot 1,5 \cdot 1,23}{\frac{1,0 \cdot 1,2 \cdot 1,50}{0,29} + \frac{1,0 \cdot 1,5 \cdot 1,23}{0,44}} = 0,35$$

Med givet k_{mod} värde erhåller man med ekvation (11) följande designhållfasthet för glaset:

Indata	
k_{mod}	0,35
k_{sp}	1,00
$f_{g;k}$	45 kN/m ²
$\gamma_{M;A}$	1,80
$f_{b;k}$	70 kN/m ²
$\gamma_{M;V}$	1,20
k_v	1,00

$$f_{g;d} = \frac{k_{\text{mod}}k_{\text{sp}}f_{g;k}}{\gamma_{M;A}} + \frac{k_v(f_{b;k} - f_{g;k})}{\gamma_{M;V}} = \frac{0,35 \cdot 1 \cdot 45}{1,8} + \frac{1 \cdot (70 - 45)}{1,20} = 29,6 \text{ MPa}$$

Momentkapacitet räknas enligt ekvation (10) och blir:

Indata	
$f_{g;d}$	29,6 MPa
W	$3,75 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$

$$M_{\text{rd}} = f_{g;d} \cdot W = 29,6 \cdot 0,000375 = 11,10 \text{ kNm}$$

Dimensionerande moment

Det dimensionerande momentet, M_{ed} , räknas enligt ekvation (2):

Indata	
q_d	3,64 kN/m
L	4,83 m

$$M_{\text{Ed}} = \frac{q_d L^2}{8} = \frac{3,64 \cdot 4,83^2}{8} = 10,60 \text{ kNm}$$

Momentkontroll

Det dimensionerande momentet ska nu jämföras med balkens böjmomentkapacitet och säkerhetsfaktorn mellan dessa beräknas. Eftersom M_{ed} har beräknats till 10,60 kNm och M_{rd} till 11,10 kNm konstateras att balken kommer att hålla.

$$M_{rd}/M_{ed} = 11,10/10,60 = 1,05$$

Detta innebär att balken, under givna förutsättningar och avgränsningar, är godkänd med 3% marginal.

Dimensionerande last i brukgränstillståndet

Inget säkerhetsavstånd behövs vid beräkning av balkarnas nedböjning och därmed sätts c/c-avståndet till 1,5 m. Den totala egentyngden blir då:

$$g_k = 25 \cdot 0,007 + 25 \cdot 0,018 \cdot 1,5 = 0,85 \text{ kN/m}$$

Baserad på beräkningar för snölasten innan blir den karakteristiska snölasten:

$$q_k = 0,41 \cdot 1,5 = 0,61 \text{ kN/m}$$

Den dimensionerande lasten baserad på karakteristisk lastkombination räknas enligt ekvation (7):

Indata	
g_k	0,85 kN/m
q_k	0,61 kN/m

$$q_{d,tot} = 1,0 \cdot 0,85 + 1,0 \cdot 0,61 = 1,46 \text{ kN/m}$$

Den dimensionerande lasten baserad på kvasi-permanent lastkombination räknas enligt ekvation (8):

$$q_{d,tot} = 1,0 \cdot 0,85 = 0,85 \text{ kN/m}$$

Nedböjning

Balkens nedböjning som kan erhållas från ekvation (16) räknas som summan av nedböjningar för respektive lastkombination :

Indata	
E	70 000 MPa
L	4,83 m
b	0,022 m
h	0,32 m

För $q_{d,tot} = 1,46 \text{ kN/m}$ blir nedböjningen:

$$v_{\max} = \frac{5 \cdot 1,46 \cdot 4,83^4}{32 \cdot 70 \cdot 10^9 \cdot 0,022 \cdot 0,32^3} = 0,0025 \text{ m}$$

För $q_{d,tot} = 0,8 \text{ kN/m}$ blir nedböjningen:

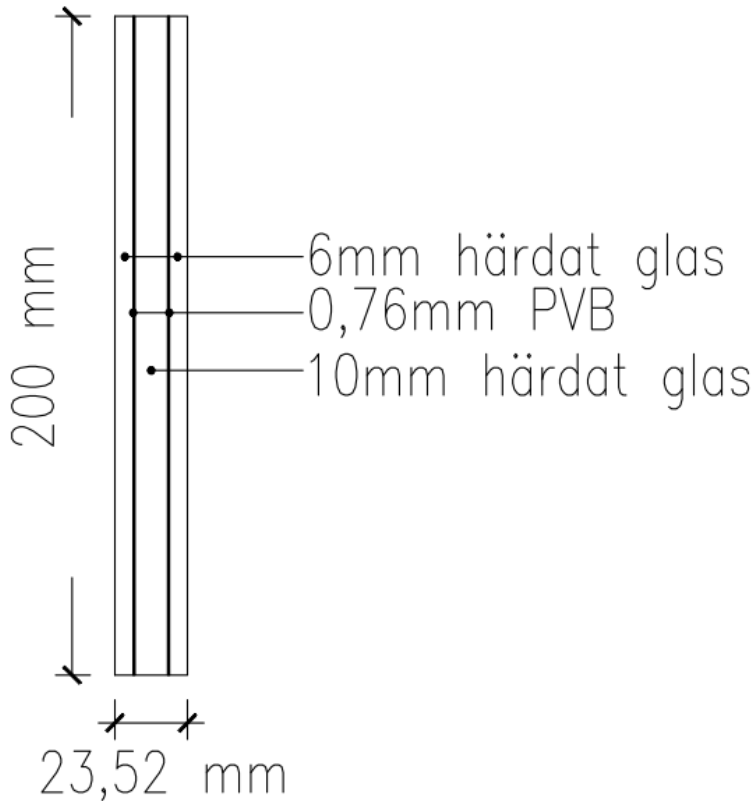
$$v_{\max} = \frac{5 \cdot 0,85 \cdot 4,83^4}{32 \cdot 70 \cdot 10^9 \cdot 0,022 \cdot 0,32^3} = 0,0014 \text{ m}$$

Den totala nedböjningen blir 0,0039 m (3,9 mm). Av detta framgår att balken skulle kunna uppfylla så höga krav som $\frac{L}{1240}$.

4.4.2 Fall 2, Härdat glas

Förutsättningar

I fall 2 består takbalkarna av tre härdade glasskivor med dimensioner enligt figur 17. C/C – avståndet mellan balkarna sätts till 3 m och tvärsnittets area A, (baserad på effektiv bredd), beräknats till 0,0044 m².



Figur 17. Principskiss på uppbyggnad och dimensioner av balk i fall 2

Permanent laster

Först ska den totala egentygden för glasblakar och glasskivor som bygger upp taket beräknas. Glasskivornas tyngd multipliceras med c/c-avståndet så att samtliga egentygder kan summeras:

Indata	
δ - glasets densitet	25 kN/m ³
A - balkens tvärsnittsarean	0,0044 m ²
d - glasskivornas tjocklek	0,018 m
c/c - avstånd mellan balkarna	3 m

$$g_k = 25 \cdot 0,0044 + 25 \cdot 0,018 \cdot 3 = 1,46 \text{ kN/m}$$

Vid beräkning av takets egentygnd måste taklutningen beaktas. Inverkan av lutningen på den permanenta lasten beräknas genom multiplicering av lasten med $\cos(10^\circ)$:

$$g_k = 1,46 \cdot \cos(10^\circ) = 1,44 \text{ kN/m}$$

Snölast

Den karakteristiska snölasten är samma som i fall 1 och har beräknats till:

$$q_k = 1,23 \text{ kN/m}$$

Dimensionerande last i brottgränstillståndet

Den totala dimensionerande lasten räknas enligt ekvation (6). Eftersom det bara finns en variabel last betraktas snölasten som huvudlast:

Indata	
γ_d	1
g_k	1,44 kN/m
q_k	1,23 kN/m

$$q_{d,tot} = \gamma_d 1,2 g_k + \gamma_d 1,5 q_k = 1,0 \cdot 1,2 \cdot 1,44 + 1,0 \cdot 1,5 \cdot 1,23 = 3,56 \text{ kN/m}$$

Böjmomentkapacitet

Momentkapacitet beror av glasets designhållfasthet, $f_{g,d}$, samt tvärsnittets böjmotstånd, W . Böjmotståndet som beror endast på materialets geometri räknas enligt ekvation (4):

Indata	
b	0,022 m
h	0,20 m

$$W = \frac{bh^2}{6} = \frac{0,022 \cdot 0,20^2}{6} = 1,47 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

För att kunna beräkna materialets designhållfasthet måste först koefficienten, k_{mod} , bestämmas. Eftersom en kombination av laster med olika tidsvarighet gäller i detta fall ska ett medelvärde för koefficienten enligt ekvation (15) räknas ut:

$$k_{\text{mod};c} = \frac{\gamma_d^{1,2} g_k + \gamma_d^{1,5} q_k}{\frac{\gamma_d^{1,2} g_k}{k_{\text{mod};G}} + \frac{\gamma_d^{1,5} q_k}{k_{\text{mod};1}}} = \frac{1,0 \cdot 1,2 \cdot 1,44 + 1,0 \cdot 1,5 \cdot 1,23}{\frac{1,0 \cdot 1,2 \cdot 1,44}{0,29} + \frac{1,0 \cdot 1,5 \cdot 1,23}{0,44}} = 0,35$$

Med givet k_{mod} värde erhåller man med ekvation (11) följande designhållfasthet för glaset:

Indata	
k_{mod}	0,35
k_{sp}	1,00
$f_{g;k}$	45 kN/m ²
$\gamma_{M;A}$	1,80
$f_{b;k}$	120 kN/m ²
$\gamma_{M;v}$	1,20
k_v	1,00

$$f_{g;d} = \frac{k_{\text{mod}} k_{\text{sp}} f_{g;k}}{\gamma_{M;A}} + \frac{k_v (f_{b;k} - f_{g;k})}{\gamma_{M;v}} = \frac{0,35 \cdot 1 \cdot 45}{1,8} + \frac{1 \cdot (120 - 45)}{1,20} = 71,3 \text{ MPa}$$

Momentkapacitet räknas enligt ekvation (10) och blir därmed:

Indata	
$f_{g;d}$	71,3 MPa
W	$1,47 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$

$$M_{\text{rd}} = f_{g;d} \cdot W = 71,3 \cdot 0,000157 = 10,49 \text{ kNm}$$

Dimensionerande moment

Det dimensionerande momentet, M_{ed} , räknas enligt ekvation (2):

Indata	
q_d	3,56 kN/m
L	4,83 m

$$M_{\text{Ed}} = \frac{q_d L^2}{8} = \frac{3,57 \cdot 4,83^2}{8} = 10,38 \text{ kNm}$$

Momentkontroll

Det dimensionerande momentet ska nu jämföras med balkens böjmomentkapacitet och säkerhetsfaktorn mellan dessa beräknas. Eftersom M_{ed} har beräknats till 10,38 kNm och M_{rd} till 10,49 kNm konstateras att balken kommer att hålla.

$$M_{rd}/M_{ed} = 10,49/10,38 = 1,01$$

Detta innebär att balken, under givna förutsättningar och avgränsningar, är godkänd med 1% marginal.

Dimensionerande last i brukgränstillståndet

Inget säkerhetsavstånd behövs vid beräkning av balkarnas nedböjning och därmed sätts c/c-avståndet till 1,5 m. Den totala egentyngden blir då:

$$g_k = 25 \cdot 0,0044 + 25 \cdot 0,018 \cdot 1,5 = 0,79 \text{ kN/m}$$

Baserad på beräkningar för snölasten som gjordes innan blir den karakteristiska snölasten:

$$q_k = 0,41 \cdot 1,5 = 0,62 \text{ kN/m}$$

Den dimensionerande lasten baserad på karakteristisk lastkombination räknas enligt ekvation (7):

Indata	
g_k	0,79 kN/m
q_k	0,62 kN/m

$$q_{d,tot} = 1,0 \cdot 0,79 + 1,0 \cdot 0,62 = 1,41 \text{ kN/m}$$

Den dimensionerande lasten baserad på kvasi-permanent lastkombination räknas enligt ekvation (8):

$$q_{d,tot} = 1,0 \cdot 0,79 = 0,79 \text{ kN/m}$$

Nedböjning

Balkens nedböjning som kan erhållas från ekvation (16) räknas som summan av nedböjningar för respektive lastkombination :

Indata	
E	70 000 MPa
L	4,83 m
b	0,022 m
h	0,20 m

För $q_{d,tot} = 1,41$ kN/m blir nedböjningen:

$$v_{max} = \frac{5 \cdot 1,41 \cdot 4,83^4}{32 \cdot 70 \cdot 10^9 \cdot 0,022 \cdot 0,20^3} = 0,010 \text{ m}$$

För $q_{d,tot} = 0,79$ kN/m blir nedböjningen:

$$v_{max} = \frac{5 \cdot 0,79 \cdot 4,83^4}{32 \cdot 70 \cdot 10^9 \cdot 0,022 \cdot 0,20^3} = 0,005 \text{ m}$$

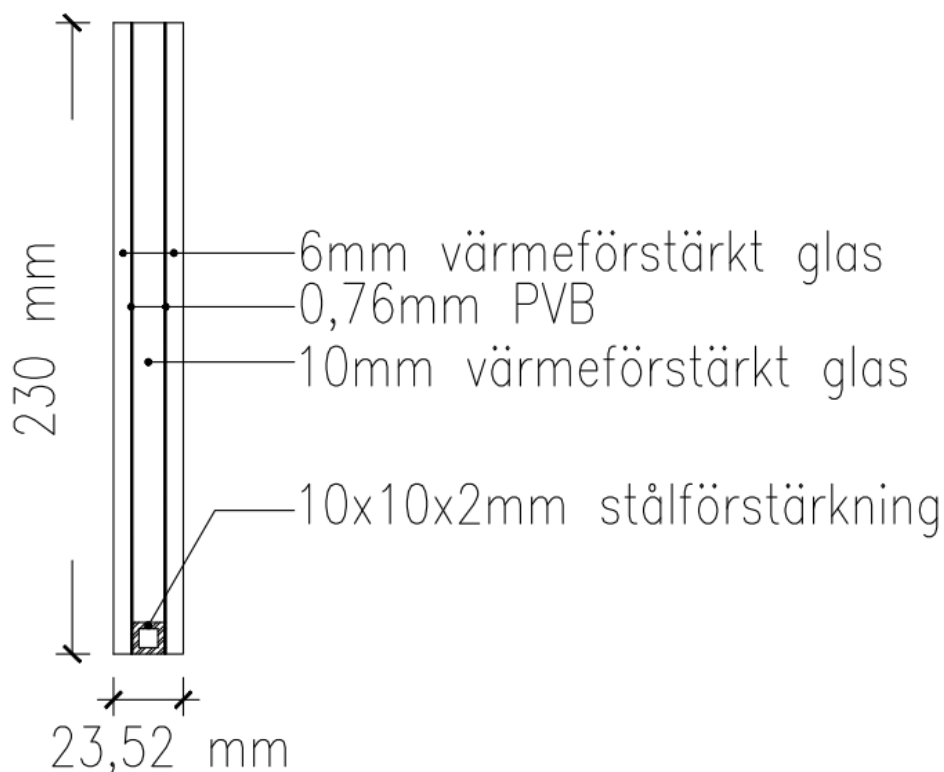
Den totala nedböjningen blir 0,015 m (15 mm). Av detta framgår att det högsta kravet som balken kan uppfylla är $\frac{L}{320}$.

4.4.3 Fall 3, Stålförstärkt värmeförstärkt glas

Förutsättningar

I fall 3 har takbalkarna, som består av tre laminerade värmeförstärkta glasskivor, förstärkts i underkant med HEA stålprofil av stålqualität S450 med dimensioner enligt figur 18. C/C – avståndet mellan balkarna sätts nu till 1,5 m och deras tvärsnittsarea A , (baserad på effektiv bredd), beräknas till 0,005 m².

Placering av stålet i underkant av glasbalkar innebär att om glasbalkarna går sönder kommer stålprofilen att kunna ta upp spänningar som uppstår och bära upp taket. Balken betraktas som en homogen balk.



Figur 18. Principskiss på uppbyggnad och dimensioner av balk i fall 3.

Permanenta laster

Först ska den totala egentyngheden för glasbalkar och glasskivor som bygger upp taket beräknas. Glasskivornas tyngd multipliceras med c/c-avståndet så att samtliga egentyngheder kan summeras:

Indata	
δ - glasets densitet	25 kN/m ³
A - balkens tvärsnittsarean	0,005 m ²
d - glasskivornas tjocklek	0,018 m
c/c avstånd mellan balkarna	1,5 m

$$g_k = 25 \cdot 0,005 + 25 \cdot 0,018 \cdot 1,5 = 0,8 \text{ kN/m}$$

Vid beräkning av takets egentynghed måste taklutningen beaktas. Inverkan av lutningen på den permanenta lasten beräknas genom multiplicering av lasten med $\cos(10^\circ)$:

$$g_k = 0,8 \cdot \cos(10^\circ) = 0,78 \text{ kN/m}$$

Snölast

Snölasten på taket beräknas enligt ekvation (5):

Indata	
μ_i	0,80
C_e	1,00
C_t	0,53
s_k	1,00 kN/m ²
L_H	4,76 m
L	4,83 m

$$s = \mu_i \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k = 0,8 \cdot 1,0 \cdot 0,53 \cdot 1,0 = 0,42 \text{ kN/m}^2$$

Ur ekvation (14) fås den karakteristiska snölasten:

$$q_k = s \cdot \frac{L_H}{L} \cdot \cos(10^\circ) = 0,41 \text{ kN/m}^2$$

C/C-avståndet mellan takbalkarna måste beaktas och det slutliga karakteristiska snölasten blir:

$$q_k = 0,41 \cdot 1,5 = 0,62 \text{ kN/m}$$

Dimensionerande last

Den totala dimensionerande lasten räknas enligt ekvation (7). Eftersom det bara finns en variabel last betraktas snölast här som huvudlast:

Indata	
γ_d	1
g_k	0,78 kN/m
q_k	0,62 kN/m

$$q_{d,tot} = (\gamma_d 1,2 g_k + \gamma_d 1,5 q_k) = (1,0 \cdot 1,2 \cdot 0,78 + 1,0 \cdot 1,5 \cdot 0,62) = 1,87 \text{ kN/m}$$

Böjmomentkapacitet

Momentkapacitet beror av glasets designhållfasthet, $f_{g,d}$, samt tvärsnittets böjmotstånd, W . Böjmotståndet som beror endast på materialets geometri räknas enligt ekvation (4):

Indata	
b	0,023 m
h	0,23 m

$$W = \frac{bh^2}{6} = \frac{0,022 \cdot 0,23^2}{6} = 1,94 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

För att kunna beräkna materialets designhållfasthet måste först koefficienten, k_{mod} , bestämmas. Eftersom en kombination av laster med olika tidsvarighet gäller i detta fall ska ett medelvärde för koefficienten enligt ekvation (15) räknas ut:

$$k_{mod;c} = \frac{\gamma_d 1,2 g_k + \gamma_d 1,5 q_k}{\frac{\gamma_d 1,2 g_k}{k_{mod;G}} + \frac{\gamma_d 1,5 q_k}{k_{mod;1}}} = \frac{1,0 \cdot 1,2 \cdot 0,78 + 1,0 \cdot 1,5 \cdot 0,62}{\frac{1,0 \cdot 1,2 \cdot 0,78}{0,29} + \frac{1,0 \cdot 1,5 \cdot 0,62}{0,44}} = 0,35$$

Med givet k_{mod} värde erhåller man med ekvation (11) följande designhållfasthet för glaset:

Indata	
k_{mod}	0,35
k_{sp}	1,00
$f_{g;k}$	45 kN/m ²
$\gamma_{M;A}$	1,80
$f_{b;k}$	70 kN/m ²
$\gamma_{M;V}$	1,20
k_v	1,00

$$f_{g;d} = \frac{k_{\text{mod}} k_{\text{sp}} f_{g;k}}{\gamma_{M;A}} + \frac{k_v (f_{b;k} - f_{g;k})}{\gamma_{M;V}} = \frac{0,35 \cdot 1 \cdot 45}{1,8} + \frac{1 \cdot (70 - 45)}{1,20} = 29,6 \text{ MPa}$$

Momentkapacitet räknas enligt ekvation (10) och blir därmed:

Indata	
$f_{g;d}$	29,6 MPa
W	$1,94 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$

$$M_{\text{rd}} = f_{g;d} \cdot W = 29,6 \cdot 0,000157 = 5,74 \text{ kNm}$$

Dimensionerande moment

Det dimensionerande momentet, M_{ed} , räknas enligt ekvation (2):

Indata	
q_d	1,87 kN/m
L	4,83 m

$$M_{\text{Ed}} = \frac{q_d L^2}{8} = \frac{1,87 \cdot 4,83^2}{8} = 5,45 \text{ kNm}$$

Momentkontroll

Det dimensionerande momentet ska nu jämföras med balkens böjmomentkapacitet och säkerhetsfaktorn mellan dessa beräknas. Eftersom M_{ed} har beräknats till 5,74 kNm och M_{rd} till 5,45 kNm konstateras att balken kommer att hålla.

$$M_{\text{rd}}/M_{\text{ed}} = 5,74/5,45 = 1,05$$

Detta innebär att balken är godkänd med 5% marginal.

Dimensionerande last i brukgränstillståndet

Den dimensionerande lasten baserad på karakteristisk lastkombination räknas enligt ekvation (7):

Indata	
g_k	0,78 kN/m
q_k	0,62 kN/m

$$q_{d,tot} = 1,0 \cdot 0,78 + 1,0 \cdot 0,62 = 1,4 \text{ kN/m}$$

Den dimensionerande lasten baserad på kvasi-permanent lastkombination räknas enligt ekvation (8):

$$q_{d,tot} = 1,0 \cdot 0,78 = 0,78 \text{ kN/m}$$

Nedböjning

Balkens nedböjning som kan erhållas från ekvation (16) räknas som summan av nedböjningar för respektive lastkombination :

Indata	
E	70 000 MPa
L	4,83 m
b	0,022 m
h	0,23 m

För $q_{d,tot} = 1,4 \text{ kN/m}$ blir nedböjningen:

$$v_{\max} = \frac{5 \cdot 1,4 \cdot 4,83^4}{32 \cdot 70 \cdot 10^9 \cdot 0,022 \cdot 0,23^3} = 0,0064 \text{ m}$$

För $q_{d,tot} = 0,78 \text{ kN/m}$ blir nedböjningen:

$$v_{\max} = \frac{5 \cdot 0,78 \cdot 4,83^4}{32 \cdot 70 \cdot 10^9 \cdot 0,022 \cdot 0,23^3} = 0,0035 \text{ m}$$

Den totala nedböjningen blir 0,0099 m (9,9 mm). Av detta framgår att den maximala kraven som balkar skulle kunna uppfylla är $\frac{L}{485}$.

Normalspänning i stålförstärkningsprofilen

Ifall glasbalken går sönder kommer stålprofilen som placerats i balkens underkant att ta upp dragspänningar som uppstår på grund av verkande moment. För att kunna beräkna de dragspänningarna bestäms först med hjälp av ekvation (9) dragkraften som uppstår mitt i balkens kant:

Indata	
M_{ed}	5,45kNm
h	0,23m

$$F_d = \frac{M_{ed}}{h} = \frac{5,45}{0,23} = 23,7 \text{ kN}$$

Genom att dividera normalkraften med stålförstärkningens tvärsnittsarea erhålles den högsta spänningen som uppstår i stålet om glasbalken skulle gå sönder.

Stålförstärkningens tvärsnittsarea:

$$A_s = 0,01 \cdot 0,01 - 0,006 \cdot 0,006 = 6,4 \cdot 10^{-5}$$

Normalspänningen blir därmed:

$$\sigma = \frac{23,7 \cdot 10^3}{6,4 \cdot 10^{-5}} = 370 \text{ MPa}$$

Kontroll

Det dimensionerande normalspänningen ska nu jämföras med stålets tillåtna spänning som anges av dess kvalite. Eftersom M_{ed} har beräknats till 388 MPa och kvalitetsklass på stålet har bestämts till S450 blir det tydlig att stålförstärkningen kommer att hålla.

$$M_{rd}/M_{ed} = 450/370 = 1,21$$

Detta innebär att stålförstärkningen, under givna förutsättningar och avgränsningar, är godkänd med 21% marginal.

5 Resultat och diskussion

5.1 Resultat

Fall	1	2	3
Typ av laminerad balk	Värmeförstärkt glas	Härdat glas	Värmeförstärkt glas med stål i underkant
c/c-avstånd (m)	1,5	1,5	1,5
Säkerhetsavstånd (m)	1,5	1,5	0
Säkerhetsmarginal (%)	3	1	5
Tvårsnittsbredd (mm)	23,5	23,5	23,5
Tvårsnittshöjd (mm)	320	200	230
Nedböjning (mm)	3,9	15	9,9

Tabell 9: Resultatöversikt

Tabellen presenterar resultatet av beräkningarna för de tre olika glasbalkutformningarna. Dimensionerna på de olika glasbalkarna har gjorts så små som möjligt med avseende på optimal användning av materialet vilket har resulterat i låg säkerhetsmarginal med valt säkerhetsavstånd. Bredden på balkar samt deras uppbyggnad har satts till samma för alla fall för att underlätta jämförelsen och för att kunna se tydligt hur tvärsnittets höjd varierar beroende på glastyp och utförande. Balkarna har dimensionerats för ett centrumavstånd på 1.5 meter. Av säkerhetsskäl, som förklaras under kapitel 5.3, har även ett säkerhetsavstånd på 1,5 meter använts i de tre första fallen vilket lett till ett teoretiskt avstånd av 3 meter i beräkningarna.

5.2 Val av dimensioner och avstånd

Centrumavståndet på 1,5 meter som använts vid beräkningarna i denna studie har valts på grund av att det anses vara ett estetiskt bra avstånd, liknande avstånd har använts till exempel för takbalkarna i Apples hel-glasade entré i New York.

Vid valet av dimensioner har det först och främst strävats efter ett tunt tvärsnitt men också en balkutfomning som är tänkt att fungera funktionsmässigt i alla fallen. Det finns många parametrar att ta hänsyn till vid balkdimensionering, såsom särskilda tjocklekar på olika typer av glas och lim, och eftersom balken i sista fallet har mest komplicerad uppbyggnad har dimensionerna anpassats till det som grund. Själva tjockleken på glasskivorna

som utgör balkarnas kärna har anpassats efter stålförstärkningens dimensioner som i sin tur skulle vara så små som möjligt för att inte förstöra balkarnas transparens. Dimensionerna på stålet beror huvudsakligen på dess kvalité och genom att använda exempelvis seghärdat konstruktionsstål kan ståltvärsnittet göras mycket mindre beroende vilka krav som önskas uppfyllas. Yttersta glasskivorna har valts med avsikten att inte bara bära upp lasten utan också för att skydda balkarnas kärna mot fysisk påverkan. Har det på förhand bestämts att exempelvis härdat glas ska användas så går det troligen hitta andra tänkbara utformningsalternativ. Av säkerhetsmässiga skäl, som diskuteras vidare, har det också bestämts att balkarna skulle vara uppbyggda av tre laminerade glasskivor.

5.3 Säkerhet

Säkerheten i bärande glaskonstruktioner är troligen den viktigaste aspekten. Beräkningsresultatet har visat att det är möjligt att bygga med alla typer av glas som har behandlats. I denna studie har det bestämts att en balk ska klara två centrumavstånd, dvs. 3 meter, som i detta arbete benämns säkerhetsavstånd, för att taket inte ska ramla in utifall att en balk skulle gå sönder. Som alternativ för att ha ett säkerhetsavstånd kan ett centrumavstånd på 1.5 meter användas, som det gjorts i fall 3. Glaset behöver dock underkantsarmeras med ett mindre limmat tvärsnitt av stål, starkt nog att klara böjdraghållfastheten ifall glasbalken skulle gå sönder.

En annan faktor som har oehört stor inverkan på säkerheten är uppbyggnaden av takbalkarna som i de fyra fallen består av tre laminerade glasskivor. Genom att laminera ihop glasskivorna med plastfolie blir risken för person skador väsentligt mindre vid brott. Härdat glas granulerar då det går sönder och kan relativt sett anses vara ofarligt, medan värmeförstärkt glas spricker i långa skärivor och kan orsaka allvarliga skärskador. Glaslaminatet håller glasbitarna på plats och förhindrar dem från att splittras. Det gör även att balken delvis bibehåller sin struktur och hållfasthet efter brottet. Här kan härdade glasets granulerande brottmönster visa sig vara ogynsammt på säkerhetsnivå.

Som redan har nämnts i arbetet är glas väldigt känsligt för olika typer av kemikalier och mekanisk påverkan. Även små mikrosprickor kan påverka hållfastheten hos balken och ge upphov till brott och därför har laminatet byggts upp av tre glasskivor i denna studie. Konstruktionen blir då mycket säkrare med avseende på yttre påverkan än om den hade utförts av solida glasbalkar på grund av att den bärande inre skivan skyddas av de två yttersta. Detta innebär att det kommer att krävas grova tillverkningsfel, stor fysisk

inverkan eller fel hantering av glasprodukten för att skada den inre grövre balken.

5.4 Pre-standardens tillförlitlighet

Glas är ett väldigt komplext material och det finns väldigt många aspekter som man måste ta hänsyn till vid dimensionering av materialet. Pre-standarderna som används i detta examensarbete baseras troligtvis på standardiserade tester som utförs på väl förberedda små balkprover. I byggnader används dock oftast balkar med större yta vilket gör att böjdraghållastheten för glasmaterialet kan bli lägre än förväntat. Något som förklarats tidigare i arbetet är att glasets böjdraghållfasthet även beror på balkens yta vilket pre-standarderna verkar bortse helt ifrån.

Skillnader i tid som balkarna utsätts för påfrestningar i laboratorier och i verkliga byggnader är troligen stora och därför kan variationer mellan erhållet teoretiskt resultat och materialets beteende i verkligheten förekomma. Ett antal långtidsförsök krävs för att validera modellens trovärdighet.

6 Slutsatser

Det kan konstateras utifrån resultaten av beräkningarna att dimensionerna på glasbalkarna i stor utsträckning beror på typen av glas som balkarna är uppbyggda av samt deras utformning. En klar fördel med laminerade balkar är att den inre bärande skivan skyddas av de yttre vilken gör att just denna lösningen kan vara att föredra.

Laminerat värmeförstärkt glas har lägst hållfasthet vilket resulterar i att balkarna får de största dimensionerna i jämförelsen. Härdat glas har högst hållfasthet och det kan konstateras att just denna typ är lämpligast ur säkerhetssynpunkt, med avseende på skärskador. Glaset granulerar dock vid brottet vilket drastiskt nedsätter balkens förmåga att bära upp laster och det bör beaktas.

Den typ av balk som verkar fungera bäst när det gäller hållfasthet, säkerhet och även funktion är när man förstärker glasbalken i underkanten med stål. Lösningen gör att balken kan göras med ett mycket mindre tvärsnitt och ändå klara alla studiens utsatta krav. Brottmönstret på det värmeförstärkta glaset medför att konstruktionen inte är en lika stor säkerhetsrisk, med avseende på säkerhet mot ras.

I arbetet har beräkningarna gjorts med så små dimensioner som möjligt vilket medför små säkerhetsmarginaler. Det är bättre att dimensionera med större säkerhetsmarginal, eftersom man aldrig kan utesluta risken för någon tillverkningsdefekt i glasbalkarna. Emellertid kan risken för en total kollaps av

balken inte elimineras eftersom fel, på grund av t.ex. vandalism, alltid kan uppstå.

6.1 Andra tänkbara säkerhetsmässiga lösningar

En idé som har dykt upp mot slutet av skrivandet av denna rapport är att man, för att höja säkerhet, skulle kunna laminera glas med tunna plastskivor på utsidan. På så sätt skulle plastens tålighet mot slag och glasets optiska egenskaper kunna kombineras. För att behålla glasets transparens skulle plast med samma brytningsindex som glas behövas användas.

6.2 Vidare studier och förslag på ämnen för vidareutveckling av detta examensarbetet

Ämnesområdet saknar erkända beräkningsmetoder för dimensionering av glasbalkar. Därför skulle de typer av balkar som vi har föreslagit kunna testas praktiskt för att verifiera om beräkningsmetoder som vi beskrivit stämmer och kan användas.

Som förslag på vidareutveckling kan också brandtekniska frågor vara ett bra ämne. Uppfyller våra balkutformningar de brandtekniska kraven? Hur kan brandsäkerheten höjas utan att påverka glasets transparens och hållfasthet? Som vi har skrivit idagare i rapporten är glas speciellt känsligt för lokala påkänningar och olika infästningsmetoder vid upplagen. Det är ett område som också skulle kunna vidareutvecklas. Studier kring plastlaminattyper som används till laminering och deras inverkan på spänningsfördelning och säkerhet vid eventuellt brott bör också undersökas vidare.

7 Referenser

Litteratur

- [1] Burström, P-G. (2006). *Byggnadsmaterial: uppbyggnad, tillverkning och egenskaper*. Lund: Studentlitteratur, 2007.
- [2] Haldimann, M. (2008). Luible, A., Overend, M. *Structural use of glass*. Zürich: International Association for bridge and structural engineering, 2008.
- [3] Glafo, Glasforskningsinstitut. (2004). *Boken om glas*. Växjö: Glafo 2004 .
- [4] Isaksson T. (2010). Mårtensson A. *Byggkonstruktion: regel och formelsamling baserad på Eurocode*. Lund: Studentlitteratur 2010.
- [5] Carlson, P-O. (1992). *Glas-Möjligheternas byggmaterial*. Stockholm: Byggforskningsrådet, 1992.
- [6] European Committee for Standardisation, UTKAST prEN 13474-3, (2009),
European Standard - Glass in buildings
- [7] Heyden S. (2008). Dahlblom, O, Olsson, A, Sandberg, G. *Introduktion till strukturmekniken*. Lund: Studentlitteratur 2008
- [8] Isaksson T. (2010). Mårtensson A. *Byggkonstruktion*. Lund: Studentlitteratur 2010.
- [9] Sobek W. (1999). Kutterer M. *Designing with glass-strength and loadbearing behaviour in Glass Construction Manual*, Birkhauser.

Digitala källor

- [d1] Pilkington. (2009). (Pilkington) Hämtad, 2012 03 15, från <http://www.pilkington.com/resources/grundlaggandeomglas1.pdf>
- [d2] Ryds glas. Hämtad, 2012 04 15 från <http://www.rydsglas.se/glasmasteri/sakerhet>
- [d3] Carling, O. (2005). *Limträhandboken*. Stockholm: Svenskt limträ AB, 2008. Hämtad, 2012 0320 från http://www.svensktlimtra.se/Upload/File/publikationer/2009/Limtrahandbok_200812.pdf

Rapporter

[r1] Carlsson, P.-O. (2005). *Bygga med glas*.

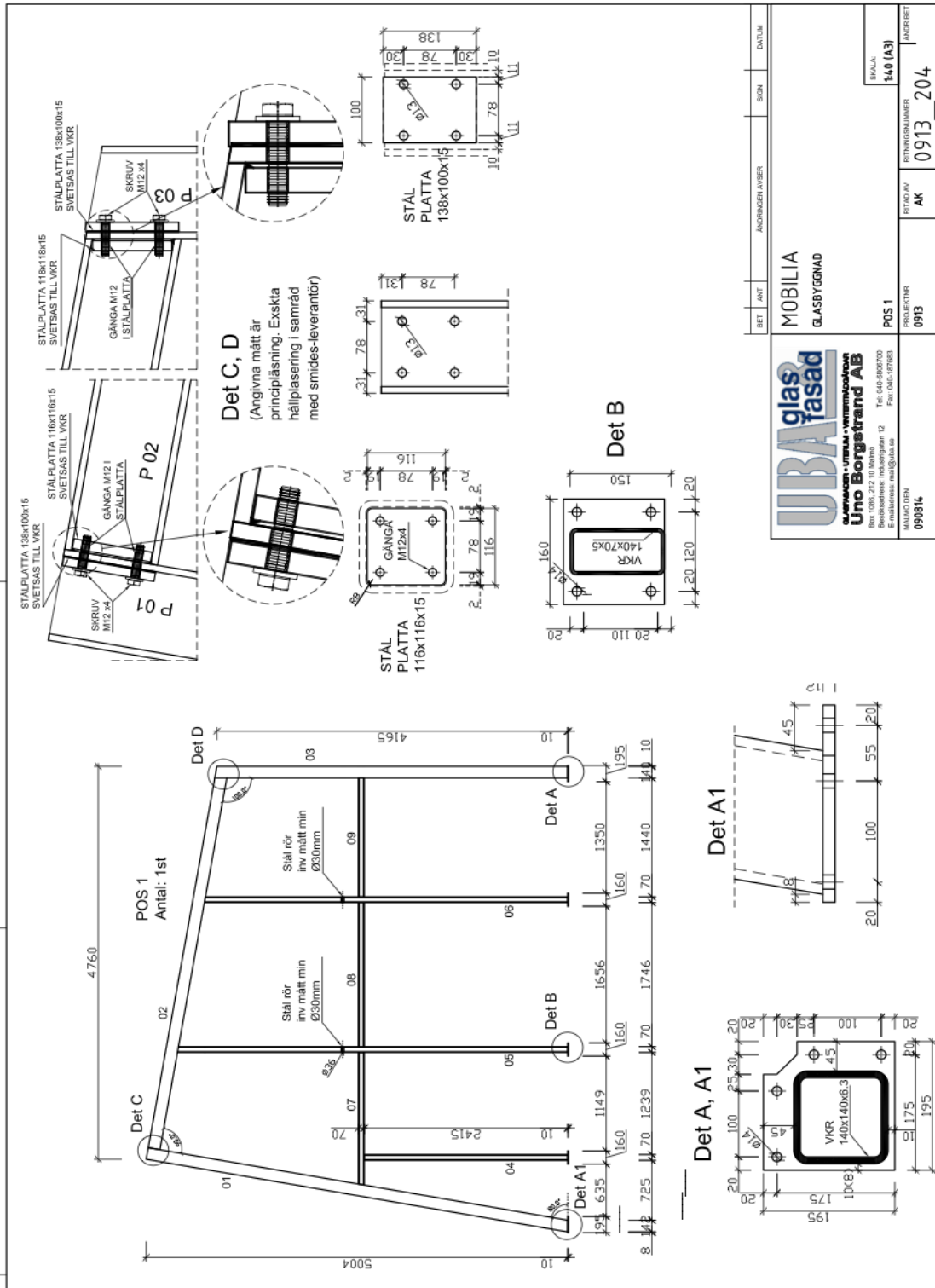
Glasbranschföreningen.

[r2] Dahlberg, M. (1988). Hansson, L, Lindh, T. *Snölast på glastak*. Lund tekniska högskola rapportarkiv, konstruktionsteknik.

[r3] Augustson B. (1991). Olofsson I. *Skador på glastak, glasfasader och "curtain wall"-konstruktioner*. Stockholm 1991.

[r4] Jonsson B. (1978). *Glas och glashållfasthet*. Lund tekniska högskola, konstruktionsteknik.

Bilaga 1



Figur 19. Mobilia parkeringsgarage-entré.