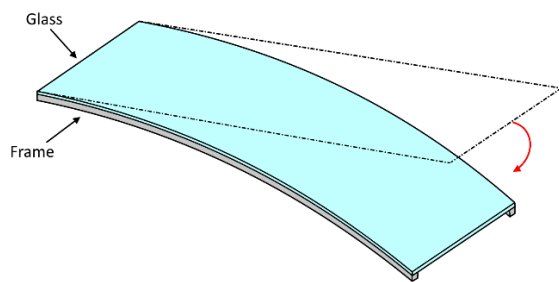


Modellering av bågformade glaselement: Kallböjda glas och förenklade modeller

Examensarbetare: Mohamad Baradey

Glasarkitektur utvecklas ständigt med ökande krav på estetik, funktionalitet och hållbarhet. Användningen av böjda glaselement blir allt vanligare i modern byggnation. Traditionellt tillverkas krökt glas av floatglas som upphettas över glasets transitionstemperatur och formas till önskad krökning. Denna teknik är tids- och energikrävande och därmed relativt kostsam. Av denna anledning används andra mer effektiva alternativ, nämligen kallböjt glas. Det innebär att glaselementen böjs på plats under monteringen utan värmebehandling.

Detta examensarbete undersöker modellering och spänningsanalys av kallböjda glaselement, där plana glasrutor elastiskt deformeras över en böjd ramstruktur utan uppvärmning, vilket leder till permanenta inre spänningar genom hela glaspanelens livslängd. Syftet med arbetet är att utvärdera hur kallböjt glas kan modelleras under dessa böjspänningar och i kombination med yttre laster, med hjälp av förenklade modeller, samt att identifiera vilka parametrar som är viktiga och avgörande.



Glasmodell för enkelkrökt kallböjning.

Frågeställningar i arbetet:

- Hur kan kallböjt glas modelleras?
- Vilka parametrar är viktigast?
- Är det möjligt att utveckla förenklade modeller?
- Hur kan kallböjningsspänningar kombineras med andra laster?

Analys Både enkelglas och laminerade glaspaneler studerades med förenklade analytiska metoder (Euler-Bernoulli balkteori och Kirchhoff-Love platt teori) och validerades mot detaljerade numeriska simuleringar i FEM-programvaran. Studien fokuserar på glaspaneler med krökningsradier mellan 10–20 m och tjocklekar mellan 6–12 mm, typiska för arkitektoniska tillämpningar.

Kallböjning av glas kan enkelt uppnås genom att glaspanelen fästs in på en av de korta kanterna

och kallböjs enaxligt från den andra korta fria kanten, likt en konsolbalk, ovanpå en fast, tunn och böjd ram-liknande understruktur med en fast krökningsradie. Målet är att tvinga glaspanelen att anta ramens krökta form.

Resultat Resultaten visar att tunnare plattor och större krökningsradier minskar de inre spänningarna avsevärt. Laminerat glas är säkerhetsglas med plastfilm (PVB) mellan glasskivorna. Tjockare, mjukare, plastfolie uppvisar förbättrad flexibilitet och lägre maxspänningar eftersom glasstrukturen blir mjukare.

Studien visar att de förenklade analytiska modellerna kunde utnyttjas för att förutsäga spänningarna i enkelkrökta glas som uppstår vid kallböjning med tillräcklig noggrannhet, särskilt för enkla monolitiska glas. Även om de analytiska metoderna tenderar att överskatta spänningarna i laminerade paneler något, är de ändå användbara som konservativa verktyg i de tidiga skedena av projekteringen, för att t.ex. utföra preliminära analyser. Numeriska metoder är dock avgörande för att fånga komplexa effekter såsom upplags-effekter, icke-linjäriteter och påverkan av PVB-folier.

Principen om lastkombination visade sig gälla för glas, som beter sig elastiskt ända fram till att brott. Med hjälp av numeriska simuleringar visades att det går att kombinera spänningar från kallböjning med yttre krafter, t.ex. vind, genom att från de olika lastfaller, summera de största spänningarna.

Utmaningen var att beräkna vindlaster på en krökt struktur med givna randvillkor, då en förenklad modell med en plan, rektangulär ruta med stöd längs alla sidor inte gav rättvisande resultat. Vidare studier behövs kring hur man på ett enkelt sätt kan beräkna vindens påverkan med analytiska metoder för att kunna kombinera det med kallböjningsspänningarna.