PROJEKTNR. 13721

Hybridkonstruktioner i trä och betong

Exempel, dynamiska utvärderingar och numeriska modeller

Carl Larsson
Skanska Sverige AB

2023-03-17

1 Inledning

Detta är en populärvetenskaplig sammanfattning av forskningsprojektet ”Hybridkonstruktioner i trä och betong” (engelsk titel: ”Timber-concrete hybrid structures”). Projektet har utförts vid Linneuniversitetet under 2019 till 2023 med finansiellt stöd från SBUF (projektnummer: 13721) och Skanska Sverige AB.

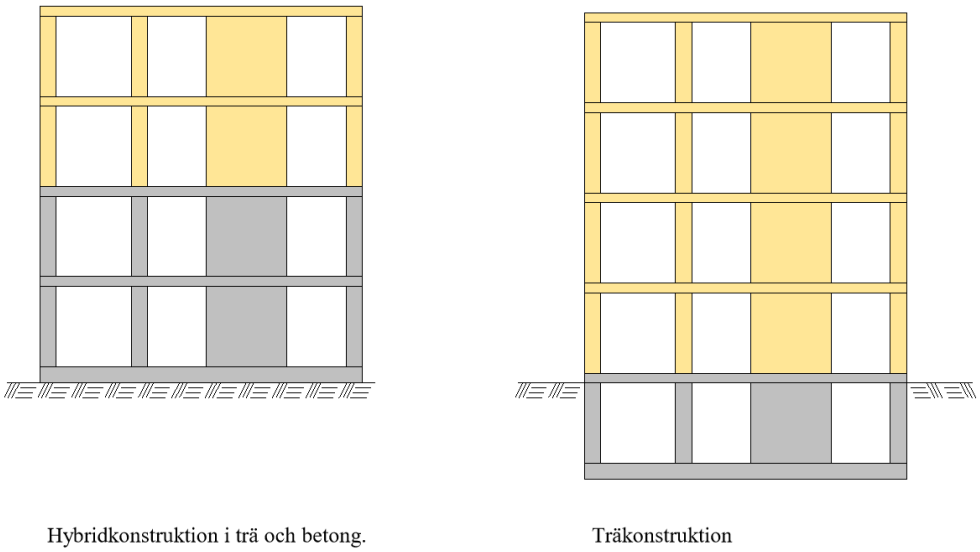
Hybridkonstruktioner i trä och betong är en innovativ lösning för att öka andelen trämaterial som används i dagens byggnader. På grund av träets fördelaktiga klimatavtryck i jämförelse med traditionella byggmaterial som t.ex. stål och betong, har både utbudet av träprodukter och efterfrågan på dessa ökat.

Då trä är en naturlig råvara, finns det vissa egenskaper som måste beaktas när det används för byggproduktion. Som exempel påverkas styvhet och hållfasthet av variabler som fiberriktning och fuktkvot. Dessutom är trä ett material med förhållandevis låg densitet, som påverkar den dynamiska prestandan i byggnader som använder bärande träelement. För att möta de krav som ställs på dagens byggnader, kombineras i flera fall bärande element i trä med bärande element i betong. Denna typ av byggnad kallas hybridkonstruktioner i trä och betong. Projektet syftar på att öka andelen hybridkonstruktioner inom byggsektorn. Målet med denna studie är att utvärdera hur den här typen av byggnader beter sig för att kunna ge konstruktörer ökad kunskap om säker och robust dimensionering.

Det här arbetet presenterar fyra olika typer av hybridkonstruktioner i trä och betong som används i Sverige. I den här typen av projekt används fler konstruktörer än i traditionella byggnadsprojekt, detta då kompetensen inom träkonstruktion ofta är bristfällig hos de traditionella konstruktörerna. Dessutom använder konstruktörer olika antaganden och statiska modeller för sina beräkningar, även om de gäller samma byggnad. I studien har dynamiska mätningar utförts som jämförs med resultaten av en tillhörande beräkningsmodell. Syftet är att ge konstruktörer en ökad förståelse för den här typen av byggsystem och de beter sig under verkliga förhållanden samt vilka beräkningsparametrar som har inflyttande.

2 Hybridkonstruktioner i trä och betong

Inledningsvis utfördes en intervjustudie där tio projekt med ett bärande system av trä och betong användes, vars resultat presenteras i [1]. Definitionen av en hybridkonstruktion valdes inom forskningsprojektet till att vara en byggnad där de bärande delarna ovanför källare eller mark innehåller bärande element i båda trä och betong, se Figur 1.



Figur 1: Definitionen av en hybridkonstruktion i trä och betong som används i detta arbete.

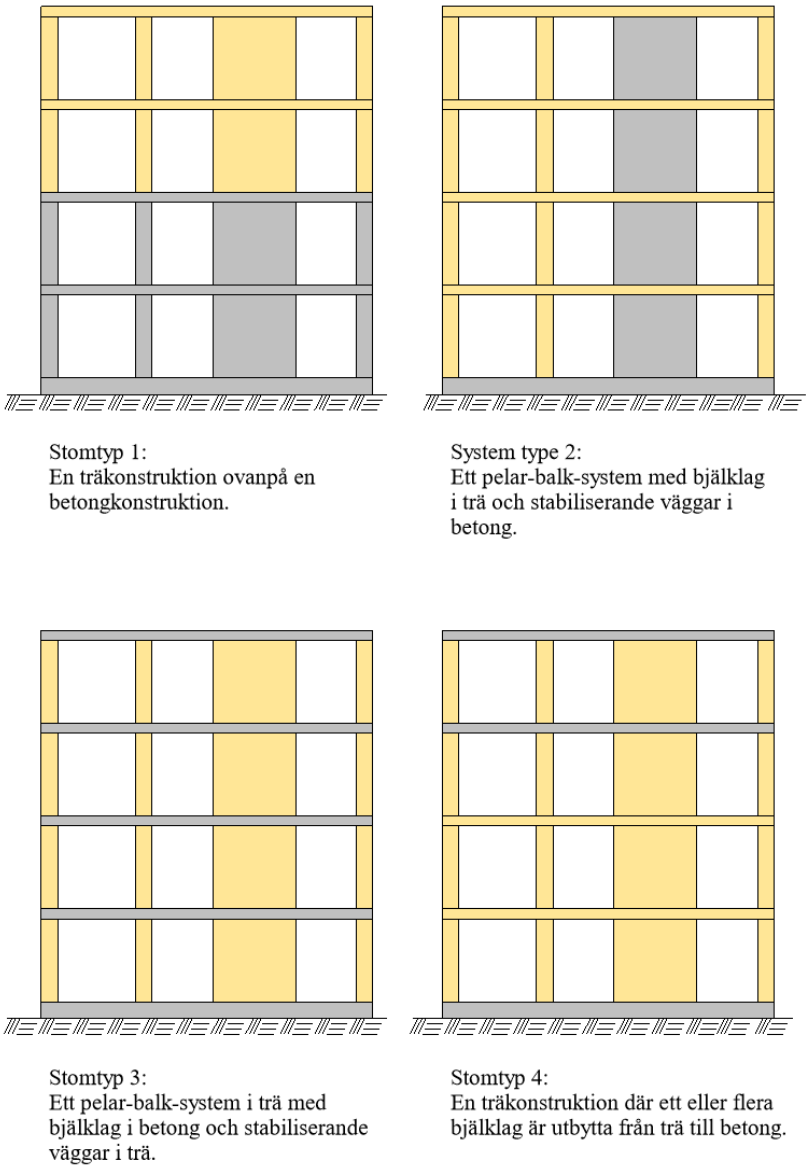
Byggnaderna i studien var slutförda eller i produktion under år 2020. Konstruktörer, projektutvecklare och entreprenörer intervjuades för att få en inblick i varför ett bärande system i trä och betong valdes och vilka konstruktiva utmaningar detta medfört.

Totalt identifierades fyra olika typer av hybridkonstruktioner i trä och betong. Stomtyp 1 definieras med en bärande stomme i betong i ett eller flera plan ovan mark. Ovanpå denna stomme sätts en stomme i trä, vanligtvis baserad på element i KL-trä. Den här typen av byggnader utförs ofta för flerbostadshus och karakteriseras med relativt korta spännvidder med en stor andel bärande och stabiliserande väggar. Att det valts betong på de nedersta våningarna beror ofta på att lyftkrafter mot grundkonstruktionen kan reduceras eller att det är en annan typ av verksamhet där.

Stomtyp 2 består av stabiliserande väggar i betong, vanligtvis kring trapphus. Utöver detta innefattar systemet ett pelar-balk-system med limträelement och bjälklag i KL-träelement. Vanliga användningsområden för det här systemet är kontor med krav på en öppnare planlösning.

Stomtyp 3 består av ett pelar-balk-system med limträelement. Detta kombineras med håldäckselement i betong som bjälklag vilket möjliggör en stomlösning med långa spännvidder. Detta system lämpar sig väl för byggnader med krav på få bärande pelare och väggar, t.ex. skolor.

Stomtyp 4 består av en bärande stomme med träelement. För att förbättra byggnadens dynamiska egenskaper görs de översta bjälklagen i betong. Detta system lämpar sig väl för högre byggnader i trä.



Figur 2: De fyra olika stomtyper av hybridkonstruktioner som identifierades i den inledande intervju-studien [1].

3 Fältmätningar

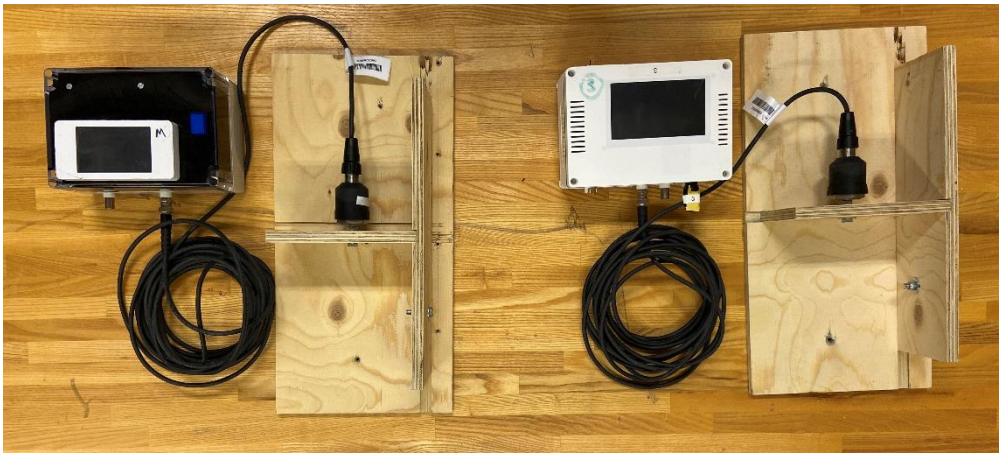
3.1 Hus Biologen 1

Hus Biologen 1 är ett 9-våningars flerbostadshus i Växjö, se Figur 3. Byggnaden består av källare samt två plan i betong. Ovanpå detta finns en KL-träkonstruktion och byggnaden motsvarar Stomtyp 1 från den inledande intervjustudien. Genom projektutvecklaren *Granitor* och totalentreprenören *Värends Entreprenad* gavs en möjlighet att använda ett mobilt mätsystem för att bestämma byggnadens dynamiska egenskaper under produktionen av byggnaden. Totalt gjordes sju fältmätningar över

13 månaders produktionstid. Dessa resultat har använts för att validera beräkningsmodeller som normalt görs av konstruktörer som använder en finita elementanalys som beräkningsmetod. För fullständig beskrivning av Hus Biologen 1 med de tillhörande fältmätningarna se [2].

Figur 3: Hus Biologen 1 inför slutbesiktning 2021. Byggnaden är ett flerbostadshus med en hybridkonstruktion i trä och betong.

Det mobila mätsystemet som användes för Hus Biologen 1 har genom detta forskningsprojekt utvecklats genom ett samarbete mellan *Linnéuniversitetet* och *SAAB*. Målet med systemet var att man enkelt skulle kunna genomföra dynamiska mätningar på en byggarbetsplats eller i en färdig byggnad. I Figur 4 visas den prototyp som användes vid de första mätningarna för Hus Biologen 1 (t.v.) samt den slutgiltiga versionen som användes vid de slutliga mätningarna (t.h.). Systemet består av flera batteridrivna enheter för insamling av mätdata. Till dessa kopplas högkänsliga accelerometrar som registrerar hur byggnaden rör sig. Totalt tre accelerometrar kan kopplas till respektive enhet. Genom att tidssynkronisera dessa enheter och mäta på flera platser i en byggnad kan dess dynamiska egenskaper, så som egenfrekvens och tillhörande modform, bestämmas genom en metod kallad Operational Modal Analysis (OMA).



Figur 4: Det mobila mätsystem som togs fram genom ett samarbete med Linnéuniversitet och SAAB, till vänster den prototyp som användes vid de initiala mätningarna av Hus Biologen, till höger den slutliga versionen.

3.2 Hus Charlie

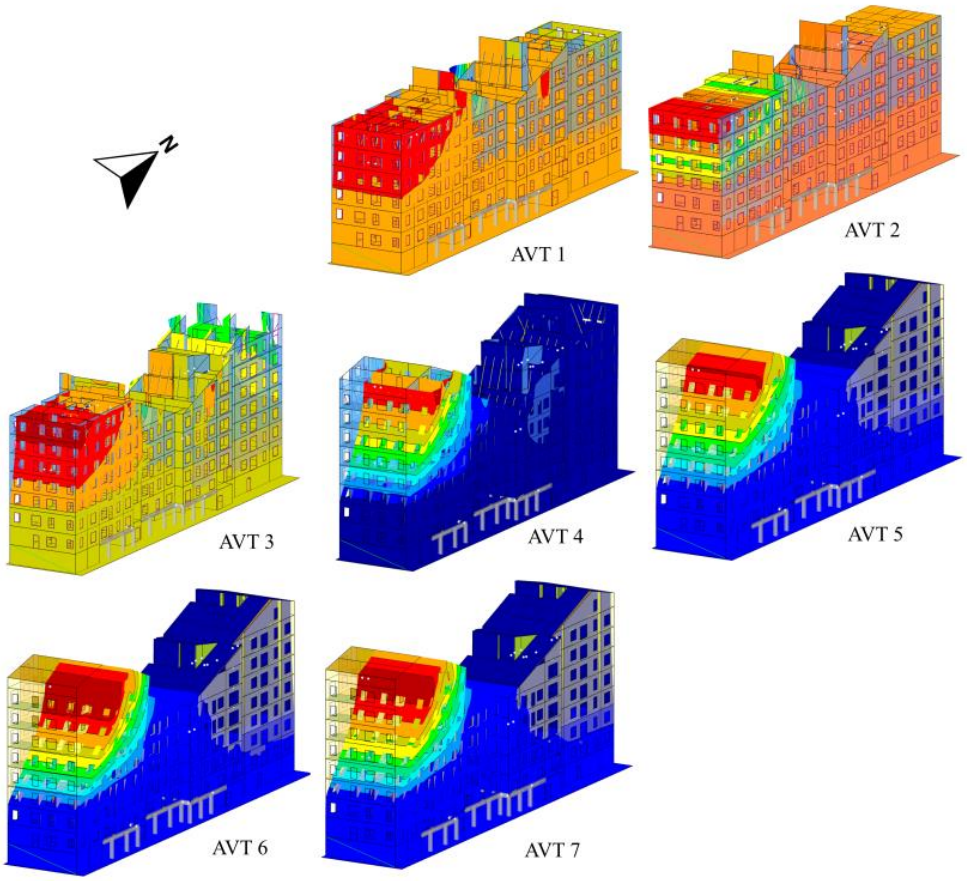
Hus Charlie är en kontorsbyggnad i fyra våningar i Växjö. Byggnaden uppfördes 2017-2018 av fastighetsägaren *Videum* med *JSB* som totalentreprenör. Byggnaden består av två trapphus i betong med ett pelar-balk-system i limträ och tillhörande bjälklag i KL-trä, se Figur 5. Byggnaden motsvarar System 2 från den inledande intervjustudien. Med finansiering från *Växjö Kommun* installerade *Linnéuniversitet* i samarbete med *SAAB* ett mätsystem för att övervaka fukt- och dynamiska egenskaper hos byggnaden kontinuerligt över tid. För fullständig beskrivning av det mätsystem som utvecklades och installerades för Hus Charlie, se [3].

Figur 5: Hus Charlie i bruk 2021. Byggnaden är en kontorsbyggnad med en hybridkonstruktion i trä och betong där ett mätsystem kontinuerligt registrerar bl.a. fuktkvot och dynamiska egenskaper.

Inom det aktuella SBUF-projektet presenteras utvärderingen av mätningar då mätsystemet och byggnaden varit i drift under tre år. De här resultaten visar på en tydlig säsongsvariation i egenfrekvenserna hos byggnaden som korrelerar väl med den uppmätta fuktkvoten inuti ett KL-träbjälklag. Slutsatsen är att det omgivande klimatet bör beaktas vid jämförandestudier med en finit elementmodell. Utöver detta presenteras en modell som predikterar egenskaperna för implementering i ett system för tillståndsövervakning för skadedetektering så att den naturliga variationen kan filtreras bort. Se [4] för fullständig beskrivning av uppföljningen av Hus Charlie efter tre år.

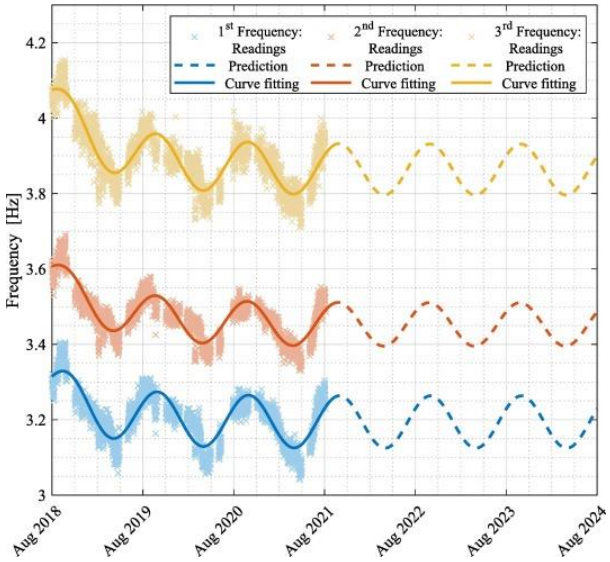
4 Resultat och Slutsats

Den jämförandestudie som gjordes av mätningarna och de numeriska beräkningarna av Hus Biologen 1 under konstruktionstiden visade vilka parametrar som i hög grad påverkar resultaten i dessa modeller. De avgörande parametrarna var främst skivskjuvstyvheten i KL-träväggarna, hur byggnadens samverkan med marken är modellerad, samt icke-bärande innerväggar. Den här typen av parametrar används vid framtagande av de beräkningsmodeller som står till grund för de laster som en konstruktör dimensionerar sina element för. Figur 6 visar de beräkningsmodeller som tagits fram för den jämförandestudie av beräkningsmodeller som presenteras i sin helhet i [2].



Figur 6: Resultat av de modformer som beräknades med hjälp av finita elementmetoden för de tillfällen dynamiska mätningar utförts på byggarbetsplatsen av Hus Biologen 1 som presenteras i sin helhet i [2].

Långtidsmätningar av de dynamiska egenskaperna för Hus Charlie som presenteras i Figur 7 visar på en tydlig säsongsvariation i egenfrekvenserna. Dessa korrelerar väl med den uppmätta fuktkvoten inuti ett KL-träbjälklag över mätperioden på tre år. Resultaten visar tydligt på att det omgivande klimatet bör beaktas vid jämförande-studier med en finit elementmodell. Utöver detta presenteras även i Figur 7 en modell som predikterar egenskaperna för implementering i ett system för tillståndsövervakning för skadedetektering så att den naturliga variationen kan filtreras bort.



Figur 7: De tre första egenfrekvenserna uppmätta för Hus Charlie under perioden 2018-2021, markerad med x. Tillhörande kurvanpassning visas som heldragen linje. Streckade linje visar resultaten av den prediktionsmodell som tagits fram i [4].

Sammantaget presenteras här den första delen av långsiktiga forskningsprojektet om hybridkonstruktioner i trä och betong. Fyra olika stomtyper har presenterats varav fördjupande fältundersökningar med tillhörande numeriska analyser har presenterats för två av dessa. Den planerade fortsättningen av projektet inkluderar vidare fältundersökningar för en tredje stomtyp samt eventuella laboratorieförsök för att vidare öka kunskapen i den här typen av byggsystem.

Tillkännagivanden

Projektet har utförts i samarbete med KK-stiftelsen projekt nr: 20190026. Monitoreringssystemet installerat i Hus Charlie finansierades av Växjö Kommun där byggherren Videum och totalentreprenören JSB möjliggjorde installationen. Mätningarna på Hus Biologen möjliggjordes genom byggherren Granitor och totalentreprenören Värends Entreprenad.

Referenser

[1] Larsson C, Dorn M. A survey of the design of hybrid load-bearing structures in timber and concrete in Sweden. Planerad för presentation i World Conference of Timber Engineering i Oslo 2023.

[2] Larsson, C; Abdeljaber, O; Dorn M. Dynamic evaluation of a nine-story timber-concrete hybrid building during construction. Under granskning för Engineering Structures 2023. https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-2505983/v1.

[3] Dorn M, Abdeljaber O, Klaeson J. Structural Health Monitoring of House Charlie. Projektrapport, Linneuniversitet, 2019.

[4] Larsson C, Abdeljaber O, Bolmsvik Å, Dorn M. Long-term analysis of the environmental effects on the global dynamic properties of a hybrid timber-concrete building. Engineering Structures 2022;268. https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2022.114726.