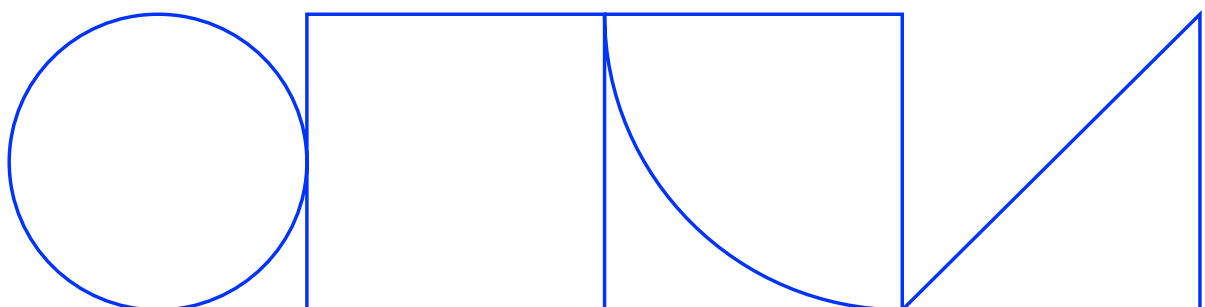


Byggnadssystem av KL-trä i samverkan med andra material

Insikter från fältmätningar, dynamiskt beteende och
numeriska analyser

Carl Larsson
Skanska Sverige AB

2025-11-07



Förord

SBUF Projekt 14251 fokuserar på Byggnadssystem i KL-trä i samverkan med andra material, så kallade hybridkonstruktioner i trä och betong. Det är del 2 av ett doktorandprojekt som utförts vid Linnéuniversitet. Del 1, SBUF projekt 13721, finns redovisat i referens [1].

En majoritet av arbetet har bestått i att utföra fältmätningar under produktion av den här typen av byggnader. Jag vill rikta ett stort tack till JSB, Värends Entreprenad, Granitor, GBJ, Byggnadsfirman Otto Magnusson, Folkhem och Byggpartner. Jag vill även rikta ett stort tack till SAAB för framtagandet av mätsystemet som använts. Delar av projektet har utförts i samarbete med KTH och University of Ljubljana.

Forskningen har utförts med stöd från SBUF, Skanska, Linneuniversitet och KK-stiftelsen. Medverkande företag SBUF referensgrupp utöver ovan nämnda har varit NCC, Peab, Södra, Martinsons, Rise och Timratec. Medverkande företag genom KK-stiftelsen utöver ovan nämnda har varit IKEA, Derome, Växjö Kommunföretag AB, Setra, Holmen, Vida, Wingårdhs, Dalahusgruppen, Arkitektbolaget, Torps Byggelement, GBO Fastening Systems, Dynalyse och Svenskt Trä. Jag vill även passa på att tacka dessa företag för möjliggörandet av det här doktorandarbetet!

Slutligen vill jag tacka mina handledare Michael Dorn (LNU), Osama Abdeljaber (LNU) och Åsa Bolmsvik (Skanska). Jag vill även tacka min referensgrupp bestående av Linda Cusumano (NCC), Jan Adolfsson (Peab), Marcus Samuelsson (Skanska), Henrik Berg (GBJ), Daniel Anderson (Södra), Peter Jacobson (Martinsons), Måns Herner (Herner GS), David Eriksson (DER MGM), Pierre Landel (Prodesign) och Marie Johansson (Rise).

Spridning

Doktorandarbetet i helhet (SBUF projekt 13721 och 14251) har resulterat i fyra vetenskapliga tidskriftsartiklar, publicerade i de ansedda tidskrifterna *Engineering Structures* och *Journal of Building Engineering* [2–5]. Utöver detta har projektet medverkat i totalt 8 konferensbidrag [6–13], och totalt har ett 40-tal föreläsningar i olika sammanhang utförts. Internationellt har projektet med delresultat presenterats i bl.a. Norge, Tjeckien, Österrike, USA och Australien. Nationellt har projektresultat spridits, dels genom konferenser och föreläsningar, dels genom medlemsföretag SBUF och referensgruppen samt företag anslutna till KK-stiftelsen och deras initiativ inom träkonstruktion.

Utöver SBUF-rapporter har en populärvetenskaplig artikel publicerats i *Bygg och Teknik*.

Samtliga publikationer finns tillgängliga genom på: <https://lnu.diva-portal.org/smash/person.jsf?pid=authority-person%3A103440&dswid=8071>

Sammanfattning

Hybridkonstruktioner i trä och betong är en innovativ lösning för att öka andelen trämaterial i byggnader och därmed minska miljöpåverkan jämfört med om traditionella material som stål och betong använts. Trämaterialets unika ortotropiska egenskaper, låga vikt, och naturliga ursprung medför dock utmaningar vid dimensionering.

Denna rapport syftar till att öka förståelsen och tillämpningen av hybridkonstruktioner genom fältmätningar och finita elementmodeller för att utvärdera parametrar som används vid dimensionering.

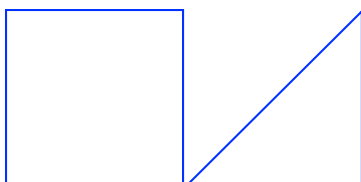
En utmaning i projekteringsprocessen är att säkerställa effektiv samverkan mellan konstruktörer, som ofta är specialiserade på ett material och använder olika antaganden och beräkningsmodeller. Detta kan leda till modellrelaterade osäkerheter som påverkar resurseffektivitet, utnyttjandegrader och konstruktionens tillförlitlighet, något som också identifierats i referensgruppen.

Projektet adresserar dessa problem, dels med tips till projekteringsorganisationen, men främst genom en omfattande mätkampanj som kombineras med analyser av beräkningsmodeller. Målet är att identifiera parametrar med avgörande inverkan, tydliggöra modellantaganden och höja tillförlitligheten i strukturanalysen. Studien bidrar till en fördjupad förståelse vid projektering av hybridkonstruktioner genom dynamiska mätningar, finita element-modellering och uppdatering av modeller.

Studien baseras på fyra färdigställda eller pågående byggnadsprojekt. Det första, en fyravånings kontorsbyggnad, omfattar en treårig mätperiod som visade stark korrelation mellan säsongsvariationer i dynamiska egenskaper och fukthalten i ett KL-träbjälklag. En prediktiv modell utvecklades för att kvantifiera dessa variationer, viktiga vid tillståndsovervakning.

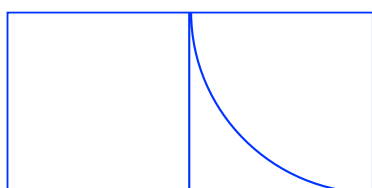
För att utvidga undersökningarna utvecklades ett modulärt och mobilt mätsystem för Ambient Vibration Tests. Systemet användes i de tre övriga byggnaderna under ett produktionsskede som möjliggjorde en analys av byggprocessens inverkan på det dynamiska beteendet.

Resultaten från det experimentellt-numeriska tillvägagångssätt bidrar till utvecklingen av robustare dimensioneringsmetoder, förbättrade prediktiva modeller samt implementeringen av avancerade system för tillståndsovervakning, särskilt anpassade för hybridkonstruktioner i trä och betong.



Innehåll

Sammanfattning	2
Introduktion	4
Intervjustudie	4
Vikten av samordning mellan olika konstruktörer	5
Fallstudier	6
Hus Charlie	6
Biologen I	7
Kvarteret Skymningen	7
Fyrtornet	8
Övriga byggnader	9
Resultat	10
Säsongsvariationer i egenfrekvenser	10
Inverkan av grundkonstruktion	11
Inverkan av skjuvstyvhet i KL-träväggar	11
Sammanställning	13
Slutsats	13
Litteraturförteckning:	14



Introduktion

Hybridkonstruktioner i trä och betong är en innovativ lösning för att öka andelen trämaterial i byggnader och därmed minska miljöpåverkan jämfört med om traditionella material som stål och betong använts. Trämaterialets unika ortotropiska egenskaper, låga vikt, och naturliga ursprung medför dock utmaningar vid dimensionering.

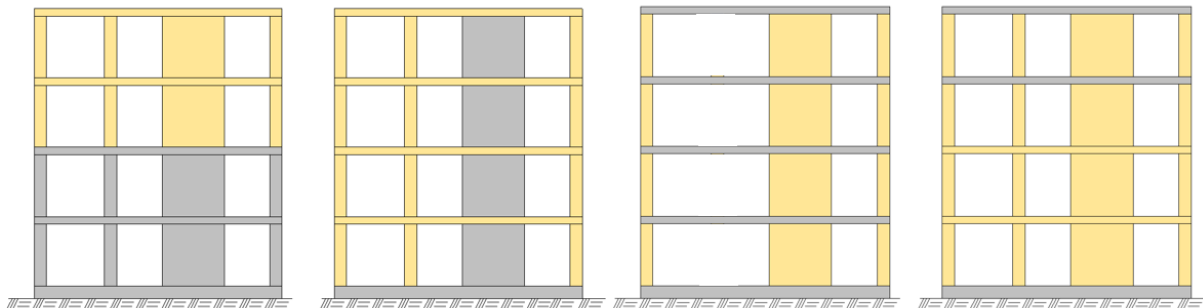
Det här projektet syftar till att öka förståelsen och tillämpningen av hybridkonstruktioner genom fältmätningar och finita elementmodeller för att utvärdera parametrar som används vid dimensionering.

Intervjustudie

En inledande intervjustudie gjordes, dels för att identifiera olika typer av hybridkonstruktioner i trä, dels för att undersöka olika typer av frågeställningar som varit viktiga i dessa projekt. 10 projekt valdes ut och totalt gjorde 16 intervjuer med inblandade parter, främst projekteringsledare, konstruktörer och projektchefer. Samtliga resultat är redovisade i referens [6].

Fyra olika kategorier av hybridkonstruktioner i trä och betong identifierades, visade i Figur 1, beskrivna nedan:

1. Den första kategorin består av en träkonstruktion, ofta i KL-trä, placerad på en betongkonstruktion. Bostäder uppförs ofta i den här typen av hybridkonstruktion.
2. Den andra kategorin består av en träkonstruktion med stabiliserande väggar i betong. Kontor och andra verksamhetslokaler med krav på öppnare planytor hamnar ofta i den här kategorin.
3. Den tredje kategorin består av en träkonstruktion med håldäcksbjälklag i betong. Skolor och kontor med krav på längre spännvidder utförs ofta i den här kategorin.
4. För högre byggnader i trä krävs ofta en ökad tyngd högt upp i konstruktionen för att klara olika typer av dynamiska krav. Den sista kategorin består av en trästomme, där ett eller flera av de övre bjälklagen utförs i betong för att öka byggnadens tyngd.



Figur 1: De fyra identifierade kategorierna av hybridkonstruktioner i trä och betong.

Vikten av samordning mellan olika konstruktörer

I den här typen av hybridkonstruktioner i trä och betong identifierades det att det var fler konstruktörer inblandade jämfört med mer traditionella projekt. Oftast var det separata konstruktörer för bärverksdelar tillverkade i betong och för bärverksdelar tillverkade i trä. Samordningen mellan dessa konstruktörer identifierades av stor betydelse för utgången av projektet. Det noterades även att de olika konstruktörerna använde olika beräkningsmodeller, använde olika beräkningsmetoder med olika beräkningsantaganden som följd. Detta kan leda till modellrelaterade osäkerheter som påverkar resurseffektivitet, utnyttjandegrader och konstruktionens tillförlitlighet. Detta har t.ex. påvisats i forskning från LTH i referens [14].

Vikten av samordning mellan de olika konstruktörerna har belysts flera gånger under detta SBUF-projekt. Både författare och referensgruppen vill understryka vikten av detta med följande uppmaning

- Utse en samordnande konstruktör/huvudkonstruktör, ansvarig för att övriga konstruktörer arbetar utifrån samma förutsättningar vad gäller regelverk, laster, val av beräkningsmodell m.m.
 - Denne konstruktör bör ha en egen beräkningsmodell för lastnedräkning skild från övriga konstruktörer i kontrollsyfte för projektet.
- Se till att sätta upp tydlig ansvarsfördelning för respektive konstruktörs åtaganden.
 - Till detta inkluderas globala effekter som t.ex. totalstabilitet och fortskridande ras.

Författare och referensgrupp hänvisar till tidigare publicerade artiklar i området, t.ex. från Almega i referens [15], och LFM30 i referens [16].

För vidare studier identifierades ett behov av att utvärdera färdiga byggnadsverk för att jämföra dessa mot olika typer av beräkningsmodeller/antaganden för att kunna stödja dagens projekteringsprocess.

Fallstudier

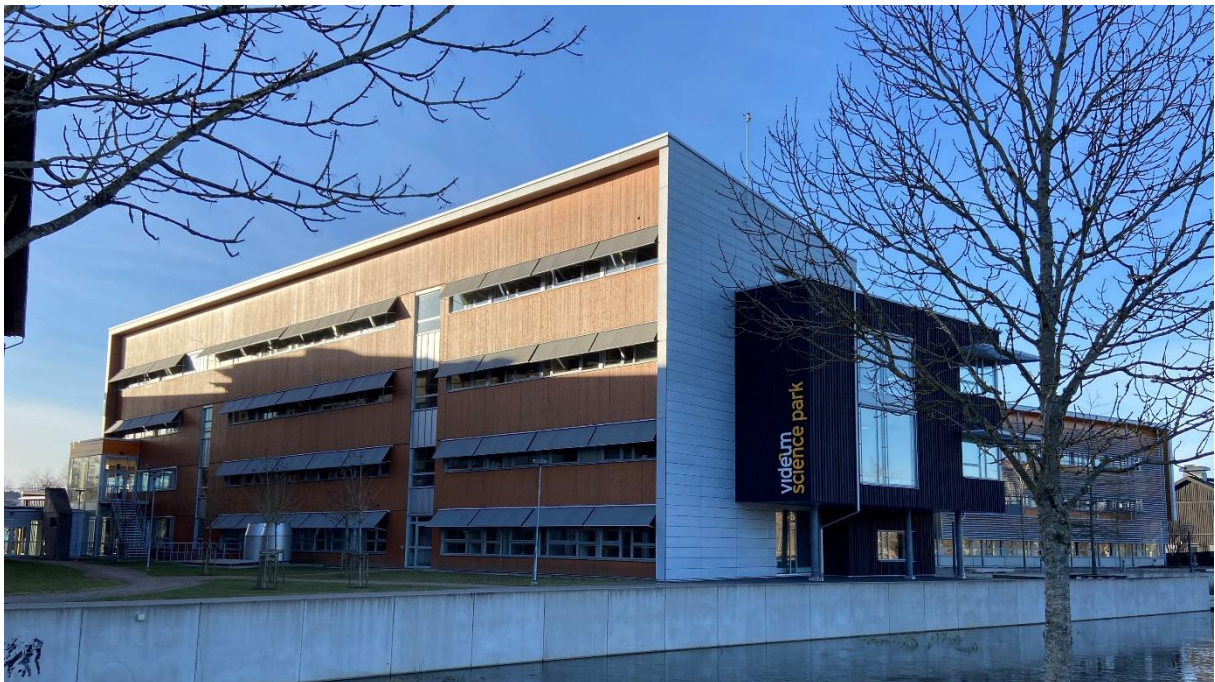
Kärnan i detta arbete ligger i de fältmätningar som utförts på hybridkonstruktioner i trä och betong. Detta har utförts med två olika typer av mätsystem som tagits fram i ett samarbete mellan Linnéuniversitetet och Saab. Det första mätsystem är ett system för permanent installation, där accelerometrar och geofoner samlar in dynamisk mätdata, samt fukt- och temperaturgivare som samlar in värden för att bestämma fuktkvot i trämaterial.

Det andra systemet som utvecklats är för korttidsmätningar med accelerometrar för insamling av dynamisk mätdata. Detta mätsystem är utvecklat som ett bärbart batteridrivet system för att enkelt kunna utföra mätningar på en byggarbetsplats.

Gemensamt för de båda systemen är att de utför s.k. Ambient Vibration Tests, en vedertagen mätmetod för att bestämma byggnadens egenfrekvens och modform genom att endast mäta accelerationer i byggnaden uppkomna av externa lastkällor, såsom vind och trafiklast.

Hus Charlie

Hus Charlie, som visas i Figur 2, är en fyrvånings kontorsbyggnad belägen i Växjö, Sverige. Byggnaden omfattar cirka 5 700 m² fördelat på fyra våningsplan och består huvudsakligen av kontorsytor och konferensrum. Byggnationen genomfördes under perioden 2017–2018 av entreprenören JSB AB, med Videum som byggherre. Byggnaden invigdes officiellt i september 2018.



Figur 2: Fotografi på Hus Charlie

Hus Charlie har en längd på 55 meter, en bredd på 14,5 meter och en totalhöjd på 16 meter. Den bärande konstruktionen utgörs av ett pelar-balksystem i limträ med

bjälklag i KL-trä. Stabiliteten säkerställs genom två prefabricerade betongschakt för hissar samt ståldiagonaler placerade i två av fasaderna.

Utöver det bärande systemet finns icke-bärande fasader i träregelstomme, icke-bärande innerväggar med lättviktsstålreglar samt en pågjutning ovanpå bjälklagen.

Biologen I

Biologen I, som visas i Figur 3, är en nio vånings bostadsbyggnad belägen i Växjö, Sverige. Byggnaden rymmer totalt 70 lägenheter, fördelade via fyra entréer med tillhörande trapphus. Den har en längd på 68 meter, en bredd på 13,5 meter och en totalhöjd på 28 meter. Byggnationen genomfördes under perioden 2021–2022.



Figur 3: Fotografier från byggskedet av Biologen I, där fältmätningar utfördes under nio tillfällen under produktionen.

Konstruktionen består av en 3–7 våningar hög trästomme i KL-trä, placerad ovanpå en tvåvånings betongstruktur samt en betongkällare. Byggnaden kännetecknas av två högre sektioner: åtta våningar i den norra delen och nio våningar i den södra.

Kvarteret Skymningen

Kvarteret Skymningen, i Figur 4, består av totalt fyra byggnader belägna i Växjö, Sverige, och färdigställdes år 2023. För forskningsprojektet valdes två av dessa byggnader ut på grund av deras identiska träkonstruktion.

I båda byggnaderna utgörs det första våningsplanet huvudsakligen av platsgjuten betong med en höjd på 6 meter, medan de resterande fyra våningarna består av KL-trä med en totalhöjd på 19 meter. Taket utgörs av träfackverk placerade ovanpå ett bjälklag i KL-trä, vilket ger en total byggnadshöjd på 25 meter. Byggnadernas fotavtryck ligger på 520 m².

Byggnad 1 består av ett enda betongplan, medan Byggnad 2 har ett extra källarplan i byggnadens huvuddel. Dessutom har fem betongväggar i Byggnad 2 ersatts med ett prefabricerat pelar-balksystem. Träkonstruktionen i Byggnad 1 och Byggnad 2, placeras på de olika betongkonstruktionerna är dock identiska.



Figur 4: Fotografier på Kvarteret Skymningen, Hus 1, där fältmätningar gjordes under två tillfällen under produktion.

Fyrtornet

Fyrtornet är en 51 meter hög träbyggnad som färdigställdes år 2024 (Figur 5). Det är en elvavånings kontorsbyggnad belägen i Malmö, Sverige. Byggnaden är arkitektoniskt inspirerad av ett fyrtorn och kännetecknas av två lutande glasfasader.

Byggnadens fotavtryck är 25,1 x 25,1 meter, men på grund av ett lutande första våningsplan och de snedställda fasaderna varierar våningsytan mellan 30,5 x 30,5 meter och 22,7 x 22,7 meter. Den totala bruttoarean uppgår till 9 010 m², vilket inkluderar 7 600 m² träöverbyggnad, 850 m² underjordisk källare samt 560 m² terrass.

Den bärande konstruktionen består av en trästomme placerad ovanpå en underjordisk betongkällare. Träöverbyggnaden består av limträelement i det bärande ramverket samt KL-trä i väggar och bjälklag. Takkonstruktionen utgörs av en betongplatta, vilket definierar byggnaden som en trä-betonghybrid i denna rapport.

Pelarna är placerade i ett rutnät med måtten 4,8 x 4,8 meter, till vilket balkar och bjälklag är anslutna. På det andra våningsplanet förlängs rutnätet 4,8 meter mot öster och söder genom konsolbalkar som stöds av lutande pelare.

Det horisontellt lastupptagande systemet består av diagonala stabiliseringar i limträ samt väggar i KL-trä, där även trapphus och hisschakt är placerade. Horisontella laster överförs till dessa bärande element via bjälklagen.



Figur 5: Bild på Fyrtornet efter slutbesiktning. Här har fältmätningar utförts under produktion. Ett permanent system har installerats i samband med slutbesiktning för framtida studier. Foto: Granitor

Övriga byggnader

Utöver de ovan nämnda byggnaderna har mätningar genomförts på tre ytterligare byggnader. Samtliga tre är bostadshus i trä-betong-hybrid med en träkonstruktion placerad på 1-2 våningar i betong, se Figur 6.

Den första byggnaden är Limnologen, ett åttavånings bostadshus färdigställt 2008 i Växjö, Sverige. Mätningarna på denna byggnad användes som referens för utvecklingen av det mobila mätsystemet, då tidigare studier har genomförts av [17].

Den andra byggnaden är Cederhusen, ett trettonvånings bostadshus i Stockholm, Sverige. Mätningarna genomfördes tillsammans med två masterstudenter som en del av deras examensarbete i samarbete med Kungliga Tekniska högskolan i Stockholm. Resultaten är publicerade i [18].

Den tredje byggnaden är Vallen, ett nio vånings bostadshus i Stockholm, Sverige. Mätningarna genomfördes tillsammans med två mastersstudenter som en del av deras examensarbeten vid Linnéuniversitetet, men studien är ännu inte färdigställd.



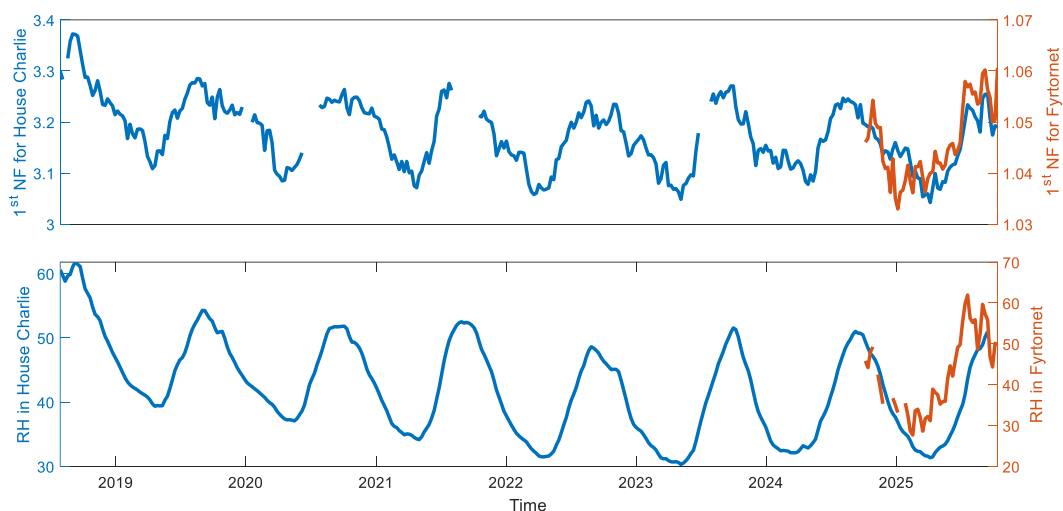
Figur 6: Cederhusen, Vallen och Limnologen där fältnätningar utförts.

Resultat

Säsongvariationer i egenfrekvenser

I Hus Charlie och Fyrtornet har ett mätsystem installerats för permanenta mätningar, bl.a. genom accelerometrar och geofoner för att bestämma byggnadernas dynamiska egenskaper, men även fukt- och temperaturgivare för att bevaka fuktkvoten i bärande byggnadsdelar i trä.

Resultaten från de båda byggnaderna presenteras i Figur 7, där tydliga variationer i byggnadernas första egenfrekvens påvisas i den övre grafen. Mätresultaten från Hus Charlie är presenterade i referens [4]. Resultaten för Fyrtornet är ej ännu publicerade då mätsystemet endast har varit igång under ett år.



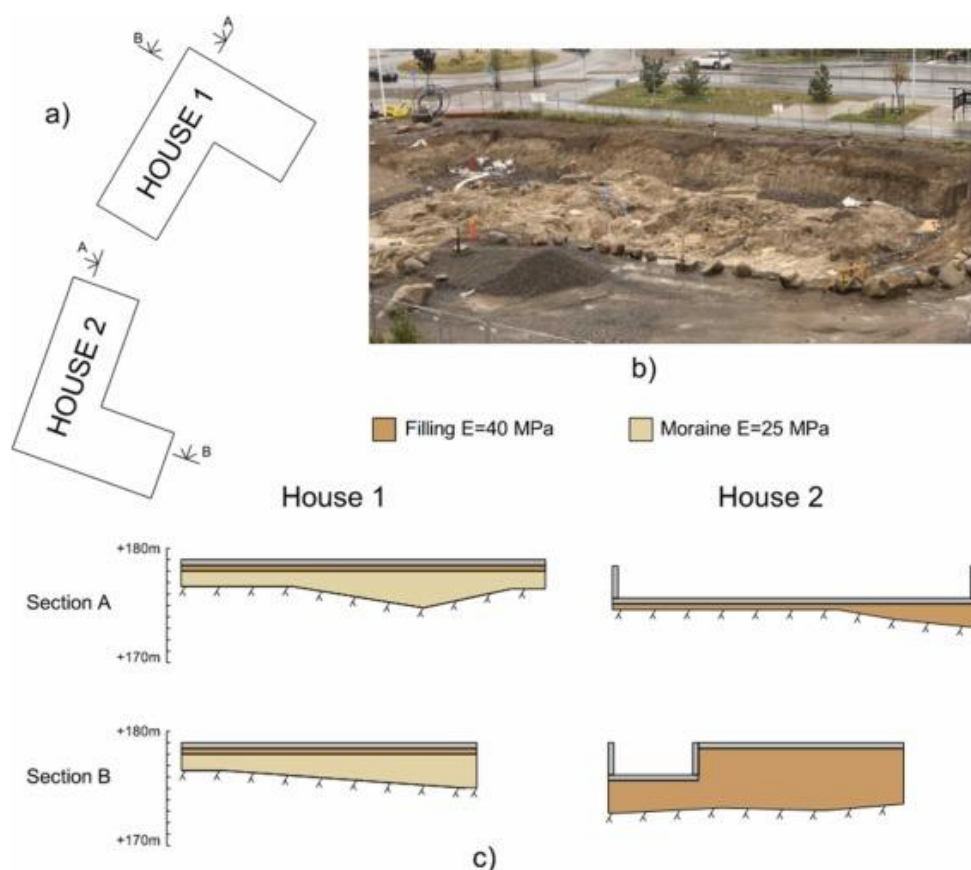
Figur 7: Övre graf visar variation av den första egenfrekvensen av Hus Charlie (blått) och Fyrtornet (rött). Den nedre grafen visar fuktvariation i relativ fuktighet hos träelement i Hus Charlie (blått) och Fyrtornet (rött).

Liknande variationer kan ses i fuktkvoten, Figur 7 nedre grafen. I referens [4] kunde en stark korrelation påvisas, något som är av stor vikt när egenfrekvenser används som indikator på byggnadsskada i Structural Health Monitoring (SHM) system.

Inverkan av grundkonstruktion

En av frågeställningar från byggnadsbranschen var om inverkan av grundkonstruktionen bör tas med vid bestämning av byggnadernas första egenfrekvens vid finita elementberäkningar. För hybridkonstruktioner i trä och betong har detta undersökts för byggnaderna Biologen I, Hus 1 och 2 i kvarteret Skymningen samt i Fyrtornet. Resultaten från dessa studier finns publicerade i [2], [3] och [5].

För samtliga av dessa byggnader har det bevisats att det är en obetydlig inverkan av grundkonstruktionen. I referens [3] för kvarteret Skymningen undersöktes detta extra noga då två identiska träkonstruktioner visade identiska egenfrekvenser vid fyra olika mättillfällen. Detta trots att byggnaderna hade helt olika geologiska förutsättningar, där Hus 1 var placerad på en mycket lös morän, medan Hus 2 var placerad direkt mot berg och på hårt packad fyllning, se Figur 8.



Figur 8: Geotekniska förutsättningar för Hus 1 och Hus 2 i Kvarteret Skymningen

Inverkan av skjuvstyvhets i KL-träväggar

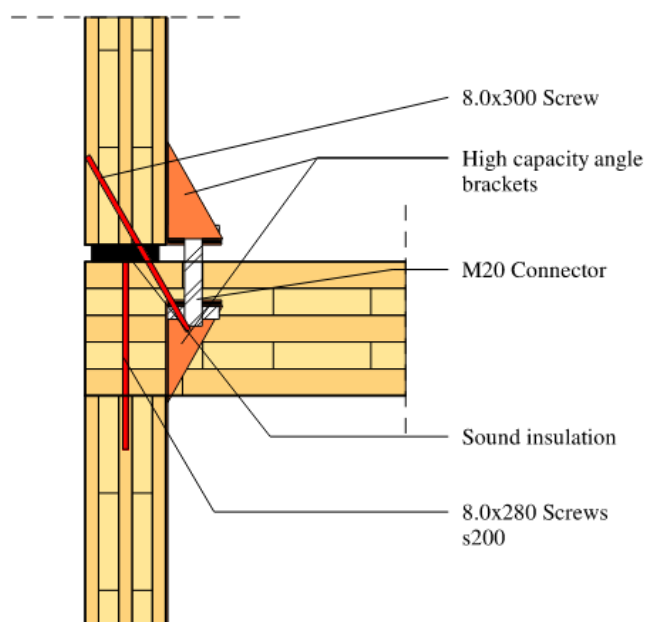
För byggnaderna Biologen I, Kvarteret Skymningen och Cederhusen noterades det att de beräknade egenfrekvenserna var betydligt högre än det som uppmätts när allmänt

vedertagna beräkningsmetoder användes. Detta var något som skiljdes från t.ex. de övriga studerade husen så som Hus Charlie och Fyrtornet.

Skjuvstyvheten i KL-träväggar identifierades sedan som den mest signifikanta parametern som påverkade beräkningsresultaten. En faktor, kallad k_{88} , normalt använd för att beakta kantlimning av lameller och deras geometri (bredd och tjocklek) i KL-träelement, initierades som en lämplig parameter för att användas vid beräkningsmodeller som yrkesverksamma konstruktörer normalt använder.

Gemensamt för de här byggnaderna var att de alla använde olika typer av elastomerer som ljudisolering för att uppnå gällande ljudkrav mellan lägenheter. Laboratorietester utförda i [19], har påvisat att skjuvstyvheten i KL-träväggar reduceras avsevärt och anses vara anledningen till att de beräknade egenfrekvenserna var betydligt högre än det som uppmätts.

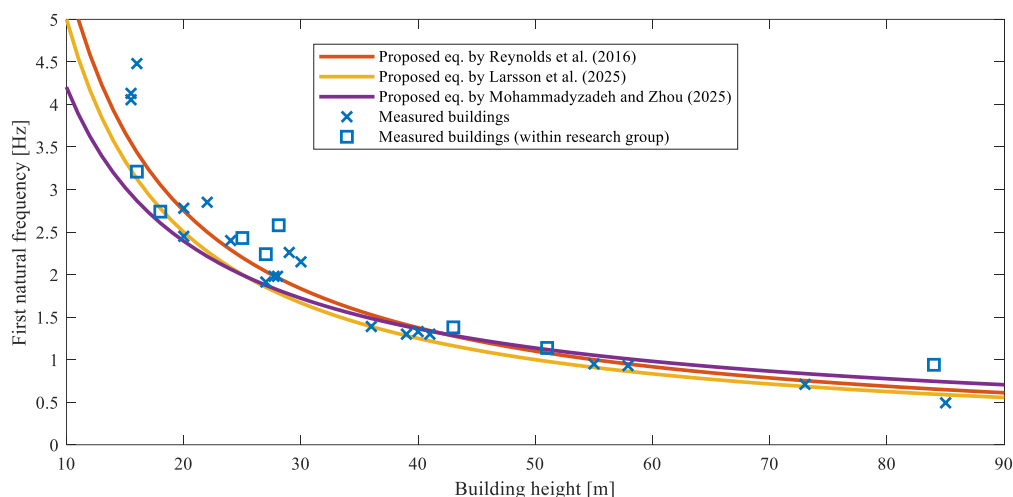
Den här slutsatsen har publicerats i [2] och [3] samt i ett examensarbete i [18]. Då denna slutsats var av allmänt intresse av byggbranschen som helhet har slutsatserna även publicerats i en Bygg&Teknik-artikel [20] i för ökad spridning bland yrkesverksamma konstruktörer.



Figur 9: Typsektion anslutning Bjälklag mot Vagg i KL-träkonstruktioner där elastomer-lagret är märkt Sound Insulation.

Sammanställning

Inom projektet utfördes dynamiska utvärderingar av totalt 8 byggnader. Då antalet byggnader var ett signifikant tillskott av utvärderade byggnader i trä sammanställdes dessa tillsammans med liknande studier i [7]. Sammanställningen ger även ett förslag till en uppdaterad Eurocode-ekvation bättre lämpad för träkonstruktioner i Ekv. 1.



Figur 10: Sammanställning av den första egenfrekvensen och byggnadshöjd för byggnadsprojekt med trä som det huvudsakliga byggnadsmaterialet. Figur som helhet med tillhörande tabell återfinns i referens [7].

$$f_1 = \frac{60}{h} \quad [1]$$

Slutsats

Fyra kategorier av hybridkonstruktioner i trä- och betong har identifierats. Dessa projekt karakteriseras av ett ökat antal involverade konstruktörer och en ökad osäkerhet i beräkningsantaganden jämfört med liknande traditionella projekt.

Som en del i att undersöka dessa beräkningsantaganden har en omfattande mätserie initierats där fyra större projekt har utvärderats. Av dessa utvärderingar har följande slutsatser dragits:

1. Det är en signifikant årstidsvariation av egenfrekvenserna hos hybridkonstruktioner i trä och betong.
2. Inverkan av grundkonstruktion är försumbar för den här typen av byggnader vid dynamisk analys under bruksförhållanden.
3. Ljudisolering i form av elastomerar placerade på väggelement i KL-trä reducerar skjuvstyvheten i väggelementet signifikant. Detta bör beaktas vid dynamiska beräkningar om dessa används.

Litteraturförteckning:

- [1] Larsson C. Projekt 13721: Hybridkonstruktioner i trä och betong. 2023.
- [2] Larsson C, Abdeljaber O, Dorn M. Dynamic evaluation of a nine-storey timber-concrete hybrid building during construction. Eng Struct 2023;289:116344. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2023.116344>.
- [3] Larsson C, Abdeljaber O, Dorn M. Dynamic testing and simultaneous model updating of two identical timber buildings with different substructures. Eng Struct 2025;339:120557. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2025.120557>.
- [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. Eng Struct 2022;268. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2022.114726>.
- [5] Larsson C, Kurent B, Abdeljaber O, Dorn M. Multi-stage structural identification of a tall timber building during construction: The role of connections and non-structural elements. Journal of Building Engineering 2025;115:114458. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2025.114458>.
- [6] Larsson C, Dorn M. A Survey of the design of timber-concrete hybrid buildings in Sweden. 13th World Conference on Timber Engineering, WCTE 2023, vol. 7, Oslo: World Conference on Timber Engineering (WCTE); 2023, p. 4338–44. <https://doi.org/10.52202/069179-0565>.
- [7] Larsson C, Kurent B, Abdeljaber O, Brank B, Dorn M. Recorded natural frequencies of timber buildings-A review. Proceedings from the 14th World Conference on Timber Engineering: Advancing Timber for the Future Built Environment, WCTE 2025, World Conference on Timber Engineering (WCTE); 2025, p. 2538–44. <https://doi.org/10.52202/080513-0309>.
- [8] Dorn M, Larsson C, Abdeljaber O. Coupling of Weather Data to Moisture content in a Timber Building. 6th International Conference on Structural Health Assessment of Timber Structures (SHATIS), Prague: 2022.
- [9] Larsson C, Abdeljaber O, Dorn M. Case studies of timber- concrete hybrid buildings - Dynamic evaluations. Forum Wood Building Nordic, Växjö: 2023.
- [10] Larsson C, Abdeljaber O, Bader T, Dorn M. Modal analysis and finite element model updating of a timber-concrete hybrid building. 6th International Conference on Structural Health Assessment of Timber Structures (SHATIS), Prague: 2022.
- [11] Dodoo A, Omer Ali F, Bozorgirad N, Quarcoo F, Larsson C. Life cycle carbon footprint analysis of cross-laminated timber multi-storey building: impact of material optimisation and substitution strategies. World Conference on Timber Engineering (WCTE), Brisbane: 2025.

- [12] Larsson C. Växjö train station and city hall, a timber-concrete hybrid. 26th International Wood Construction Conference, Innsbruck: 2022.
- [13] Larsson C. Following the Construction of Fyrtornet, by dynamic tests and model update. 4th Forum Wood Building Nordic, Malmö: 2025.
- [14] Fröderberg M, Thelandersson S. Uncertainty caused variability in preliminary structural design of buildings. *Structural Safety* 2015;52:183–93. <https://doi.org/10.1016/j.strusafe.2014.02.001>.
- [15] Almega. Huvudkonstruktörens Uppdrag. <https://www.almega.se/App/Uploads/Sites/6/2019/03/Huvudkonstruktorens-Uppdrag-InnovationsforetagenPdf> 2014.
- [16] Hiller E, Eveborn M, Johansson D, Thilén J, Svensson S, Winge E, et al. Samspel och ansvar – möjligheter och utmaningar vid utformning av hybridstomsystem – konsten att välja konstruktör. 2023.
- [17] Reynolds T, Bolmsvik Å, Vessby J, Chang W-S, Harris R, Jonathan B, et al. Ambient vibration testing and modal analysis of multi-storey cross-laminated timber buildings. *World Conference on Timber Engineering*, Oslo, 2014.
- [18] Pettersson J, Edström T. An Evaluation of the Dynamic Behavior from Ambient Vibrations in a Timber High-Rise Building A Comparison Between Experimental In-Situ Tests and Numerical Optimization. KTH, 2024.
- [19] Azinović B, Pazlar T, Kržan M. The influence of flexible sound insulation layers on the seismic performance of cross laminated timber walls. *Journal of Building Engineering* 2021;43. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2021.103183>.
- [20] Larsson C, Dorn M. Utvärdering av dynamiska egenskaper hos tre byggnader uppförda i KL-trä. *Bygg Och Teknik* 2024;4:18–21.