



Sjukhusbyggnader i trä

Vad vet vi idag och vad är gjort?

Innehållsförteckning

Innehåll

Innehållsförteckning	2
Sammanfattning	3
Förord	4
1. Bakgrund	5
2. Krav	6
2.1 Vilka olika krav på olika typer av verksamheter ställer byggherrar?	6
2.2 Vilka krav kommer att ställas på framtidens vårdbyggnader	6
2.3 Generella synpunkter på en större sjukhusbyggnad	8
3. Projekteringsaspekter för en större vårdbyggnad	10
3.1 Planlösningar och arkitektur	10
3.2 Hygien	11
3.3 Miljöfördelar med att bygga sjukhus i trä	12
3.4 Ekonomiska aspekter	12
3.5 Ljudkrav och vibrationer	13
3.6 Brand	18
3.7 EL	20
3.8 Byggfysik/Täthet	21
3.9 Byggnadsstomme och byggdelar	21
3.10 Ytterväggar och bjälklag	23
3.11 Ytskikt – Interiört	23
3.12 Ytskikt – Exteriört	24
4. Lämpliga stomsystem	26
5. Diskussion och slutsatser	28
6. Vad har byggts/projekterats?	30
Referenser	35

SMART HOUSING SMÅLAND

Sammanfattning

Denna förstudie är ett första steg i att stödja byggherrar och hela värdekedjan i att bygga även sjukhus i trästommar och eventuellt även fasader. Förstudien har tittat på ett antal dokument om vilka krav som ställs vid byggande av sjukhus och där noterat att kraven är ofta objektsspecifika, flexibla lösningar eftersträvas i de flesta fall och brand och vibrationer tillsammans med stommens bärförmåga är ofta avgörande.

Förstudien har haft som mål att visa på fördelar och möjligheter med ett träalternativ, visa på eventuella nackdelar, visa på lämpliga byggnadsstommar eller byggsystem av trä och visa på forsknings- och utvecklingsbehov. Det finns ett antal fördelar med att bygga i trä, några av dessa har diskuterats i rapporten såsom, minskad klimatpåverkan, ökad konkurrens, snabbt montage och flexibel utformning som val av byggmetod.

Att vissa saker ibland sägs vara till träalternativets nackdel hänger samman med osäkerheter kring till exempel, brand, ljud och vibrationer och bärighetsfrågor. Förstudien visar att en byggnadsstomme för ett sjukhus skulle kunna vara en pelar-balklösning i trä med relativt stora spännvidder (8-9 m).

För att kunna ta vara varje materials fördelar är en lösning med hybridkonstruktioner kanske den optimala lösningen. Förstudien har varit begränsad i omfattning och ytterligare förarbeten kommer att krävas för att med säkerhet uppnå målet med att bygga ett sjukhus med bärande trästomme till en konkurrenskraftig kostnad. Följande utvecklingsarbete och undersökning bör göras:

- Utredning av vilka bjälklagsalternativ som är konkurrenskraftiga baserade på vald kravformulering (objektsspecifikt).
- Verifiering/simulering alternativt utveckling av träbjälklag för lokaler med vibrationskänsliga utrustning.
- Verifiering/simulering alternativt utveckling störningsfria rum med avseende på utrustning.
- Ekonomiska förkalkyler.
- Verifiering/simulering byggprocess med prefabricerade element för stora byggnader.
- Industriellt intresse för prefabricerade hybridlösningar.
- Analytisk dimensionering i brandlastfallet specifikt för en sjukhusbyggnad med målsättningen att specificera mängden exponerat bärande trä.

Förstudien slutsats är dock att det är fullt möjligt att bygga stora sjukhus i trä. Projektet har berört de flesta delar som kan vara aktuellt för ett sjukhusbygge. Genomgången inom brand, ljud, vibrationer

och bärförmåga visar att i de flesta fall uppfyller dagens trälösningar de krav som kan komma att ställas för en vårdbyggnad. Det finns dock ett antal lokaler inom en sjukhusbyggnad där det är tveksamt om ett träalternativ är konkurrenskraftigt, exempelvis utrymmen med störningskänslig utrustning. För att komma vidare krävs det några klarlägganden främst inom brand men även bärighet och ekonomi.

Förord

Projektet har i sin helhet finansierats av Smart Housing Småland. Arbetet har varit ett samarbete mellan ett antal personer inom RISE samt kontakter inom näringsliv och offentlig verksamhet. Huvudförfattare och projektledare för arbetet har varit Anders Gustafsson, Magnus Falk och Jörgen Olsson samtliga RISE. Tack till er alla övriga som bidragit med information till denna förstudie.

Samtliga författare:

Anders Gustafsson, RISE

Magnus Falk, RISE

Jörgen Olsson, RISE

Daniel Brandon, RISE

Johan Sjöström, RISE

Karin Sandberg, RISE

Martin Lundmark, Skellefteå Eldesign AB

1. Bakgrund

Byggnaden förbrukar stora naturresurser vilket påverkar miljö och klimat i stor omfattning. Det pågår en diskussion i samhället att vi behöver ställa om och förändra hur vi bygger, hur drift och underhåll påverkar men även hur miljön påverkas när byggnaden rivs. Diskussionen har påverkat utvecklingen och under de senaste tio åren har träbyggnaden gått från 0% till cirka 15 % av nyproduktionen av bostäder i flervåningshus. Motsvarande utveckling har vi inte sett inom det offentliga byggandet utan mycket och används traditionella byggmetoder för stora offentliga byggnader. En möjlighet att nå än längre till en mer hållbar byggnad skulle kunna vara att offentliga beställare väljer att bygga allt mer med trä. Ny teknik har gjort det möjligt att bygga höga hus och även stora broar med trä. När Region Kronoberg beslutat att bygga ett nytt akutsjukhus i Växjö ställdes bland annat följande frågor:

- Varför byggs inget sjukhus med trästomme?
- Vad är gjort och vad vet vi om utmaningar och fördelar med att bygga i trä för de olika typer av verksamheter som ett sjukhus kan innehålla?

För att ta reda på detta har Smart Housing Småland, låtit RISE göra en sammanställning av förutsättningar för ett träalternativ. Denna förstudie som är gjord under hösten 2019 är ett första försök till svar på frågor som byggherrar, konsulter och byggare ställs inför vid en projektering och byggnation av ett framtida sjukhus eller del av ett sjukhus med trästomme.

Arbetet inom förstudien har varit inriktad mot följande konkreta mål:

- Visa på fördelar (möjligheter) med ett träalternativ.
- Visa på eventuella nackdelar.
- Visa på lämpliga byggnadsstommar eller byggsystem av trä.
- Visa på forsknings- och utvecklingsbehov.

En komplex byggnad som ett sjukhus har många olika faktorer och i arbetet har vi försökt att enbart ta upp de delar där ett träalternativ skulle särskilja sig från andra alternativa byggmetoder. För att vara öppna mot "nya" lösningar har även hybridkonstruktioner beaktats. För invändiga ytor på sjukhus pågår det utvecklingsarbete kring den eventuella positiva inverkan som till exempel synliga trätytor har på patienter. I denna förstudie har inte den aspekten beaktats enbart möjligheten att bygga med synliga trätytor ingår i förstudien. Förstudien gör inte anspråk på att vara heltäckande.

2. Krav

Inom byggandet har vi ett antal olika krav som skall uppfyllas. En del av kraven är fastlagda i olika byggnormer och utgör oftast den minsta kravnivån. För ett större bygge vilket ofta sjukhus räknas till fastställs ofta ett objektsberoende krav. Kraven beror av vilken verksamhet som byggnaden ska inrymma och projekt- eller planeringsgruppens intentioner. Kraven fastställs övergripande i en programhandling som sedan ska ligga till grund för vidare projektering. För ett träalternativ är efterfrågan av stora, generella och flexibla sjukhusbyggnader en stor utmaning där det delvis kan saknas tekniska-ekonomiska lösningar. För de mindre byggnaderna finns det redan idag lösningar i trä som innehåller vårdlokaler. Därför kommer största delen av rapporten inrikta sig mot större sjukhusbyggnader.

2.1 Vilka olika krav på olika typer av verksamheter ställer byggherrar?

Sjukvården lever i en ständig förändring. Nya tekniska hjälpmedel och organisationsformer gör att det är svårt att sja om hur det ser ut om 50 år. Byggnader projekteras för 50-100 års livslängd åtminstone med avseende på byggnadens bärande delar. Befintliga rapporter visar på att det finns åtminstone två vanliga metoder, succesivt bygga nya lokaler för de delar som förändras mest eller att göra sjukhusbyggnaderna generella och flexibla.

Det finns även stora skillnader för byggnadens utformning beroende på verksamhetens art, exempelvis:

- det är skillnad mellan byggnader för slutenvård (exempelvis vårdavdelningar för somatiska sjukdomar eller psykiatri) och behandlingsbyggnader (exempelvis operation- interventions- och röntgenavdelningar),
- har vanligtvis byggnader för vårdavdelningar och administration lägre krav på spännvidder än behandlingsbyggnader. Spännvidder upp till cirka 5 meter är tillräckliga,
- har behandlingsbyggnader ett behov av stora spännvidder (gärna c/c 9 m eller mer). De ska även klara höga vibrationskrav och stora laster.

2.2 Vilka krav kommer att ställas på framtidens vårdbyggnader

I rapporten "Framtidens vårdbyggnader" presenteras tankar kring framtidens behov av vårdbyggnader "Vårdens storkonsumenter är multi-sjuka äldre med flera kroniska diagnoser, vilka behöver mer uppmärksamhet men ofta hamnar i organisatoriska skarvar. Denna komplexitet kräver

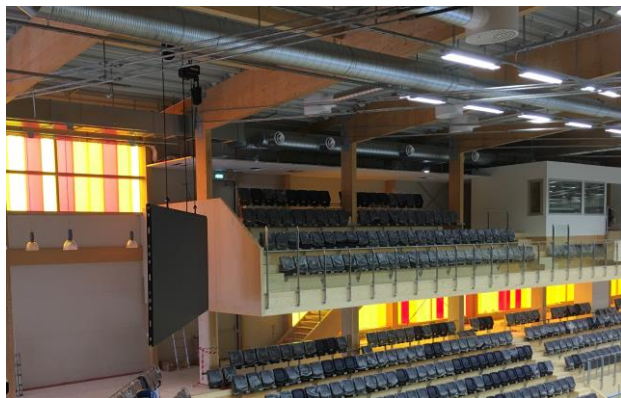
att kommun och landsting är mer integrerade och samverkar. Ett viktigt sätt att möta dessa utmaningar är att investera i ny ändamålsenlig och stödjande vård-arkitektur. I framtiden kommer mer vård att levereras i öppenvård närmare medborgarna - i hemmen, i närsjukhus/primärvård - och i slutenvård på ett färre antal högspecialiserade sjukhus. Det vi ser idag som traditionella kompletta akutsjukhusen kommer därmed att minska i antal”.

Kommer det ha någon betydelse för valet av stommaterial?

Vidare visar rapporten på kopplingen mellan vårdbyggnad och multiresistenta bakterier. Gårdagens vårdbyggnader byggdes ofta enligt paviljongmetoden, stora utrymmen med självdrag och enkelt att avskilja enheter. Möjligheten att minimera smittspridning och behandlingen av infektioner med antibiotika tillsammans nya ventilationssystem m.m. har gjort att vi under senare år planerar sjukhus som massiva block med närhet och flödes optimerat. Enligt rapporten pekar allt mer mot:

- Enpatientrum med egna badrum blir standard.
- Ännu mer avancerade ventilationssystem med ännu bättre filter.
- Det räcker inte med alkohol för handdesinfektion.
- Vårdbyggnader förses med separata entréer för infekterade patienter.
- Större sjukhus behöver förses med särskilda byggnader eller lokaler för infektionskliniker.
- Mottagningar har färre eller inga väntrum där infektioner kan spridas.
- Traditionell rengöring och städning kompletteras med nya tekniker för rumsdesinfektion som exempelvis aerosoler av väteperoxid.
- Rum och avdelningar ska vara möjliga att avdela och tillsluta.
- Hälsostödjande arkitektur.

Många av dessa frågeställningar har liten eller ingen direkt påverkan på själva byggnadsstommen och därmed möjligheten att använda trä till byggnadsstommen. Tvärtom kan det betyda mera specialinriktade byggnader och där träbyggande med sin flexibilitet kan vara ett konkurrenskraftigt alternativ.



Figur 1 Idrottshall med läktare med stomme av trä

2.3 Generella synpunkter på en större sjukhusbyggnad

Ett större sjukhus kan ofta ses i olika delar, samhällsanknutna delar, byggnadsanknutna delar och verksamhetsanknutna delar. Med samhällsanknutna delar avses kopplingen mot omgivning, infrastruktur, avlopp etc. Med byggnadsanknutna delar avses byggnadsdelar/komponenter som är svåra eller kostsamma att förändra såsom grund, bärande stomme, fasad, hisschakt, trappor etc. Byggnadsanknutna delarna kan karaktäriseras av deras funktionella och tekniska egenskaper. En byggnad har högt funktionellt generalitet om byggnaden passar för flertalet verksamheter. Faktorer som antal våningsplan, byggnadsdjup, våningshöjd, pelardelning, placering och dimensionering av hissar, trapphus och korridorer. Byggnaden har hög teknisk generalitet om bjälklagens lastkapacitet och försörjningssystemen passar för flertalet verksamheter. Faktorer att beakta är bjälklags bärförmåga, placering och storlek på vertikala installationsschakt, mm. Med verksamhetsanknutna delar avses byggnadsdelar/komponenter som är enkla att förändra eller byta ut såsom undertak, utanpåliggande installationer etcetera.

Det är de byggnadsanknutna delarna som i första hand påverkas vid val av byggnadsstomme. Vid projektering av större sjukhusbyggnader ställs ofta samman stora kravlistor vilka förändras under tid. I rapporten " Fullt flexibelt, Flexibilitet och generalitet i sjukhusbyggnader" har det angivits ett antal slutsatser enligt följande:

- Alla sjukhusprojekt är unika.
- Sjukhusbyggnader bör vara flexibla.
- En möjlighet som bör övervägas är att separera tunga och lätta verksamheter.
- Ett bra sätt att skaffa underlag för bedömning är att arbeta med scenarioteknik i planeringsfasen.
- Om inte andra värden kan påvisas vara lämpligare kan Nya Karolinska Sjukhuset, NKS krav på byggnadsanknutna delar vad gäller bärförmåga, rumshöjd, pelardelning m.m. användas som riktlinjer.
- Sjukhusbyggnader bör förberedas för kommande ombyggnader

I kapitel 6 på denna rapport finns det en sammanställning av några olika sjukhus som byggts eller kompletterats under de senaste 10-15 åren. I Tabell 1 har fakta från dessa byggnader sammanställts vilket ger en uppfattning om vad som brukar krävas med avseende planlösningar och bärförmåga.

Tabell 1 Fakta kring några uppförda sjukhusbyggnader

Objekt	Antal m ²	Plan lösning stomme	Bjälklagslast	Våningshöjd	Anmärkning/kommentar
Blocket i Lund, kompletterande byggnad 2008	120000 m ²	Pelar-balk lösning 6,4x7 m ²	5,0 kN/m ²	3,4 m	Pelarindelning i fasad borde varit större. Våningshöjden borde varit högre. Bjälklagens bärförmåga för liten.
Sunderbyn Luleå, 1999	87000 m ²	Pelar-balk lösning	-	4,5 m	
Nya Karolinska 2018	335000 m ²	Pelar-balk lösning 9x12 m ²	10 kN/m ²	4,8 m	
Hvidovre Köpenhamn 2018	250000 m ²	Pelar-balk lösning 8,4x9,6m ²	-	5,1 m	

Sammantaget visar tabellen att en bärande stomme för ett sjukhus bör minst uppfylla följande krav med avseende på byggnadsstommen:

- Pelar-balk lösning med indelning från cirka 8,0x9,5 m².
- Klara en bjälklagslast: 5-10 kN/m².
- Våningshöjd av 4,5-5 m (rumshöjd= 2,5-3,2 m).
- Antal våningar bör vara 3-8.



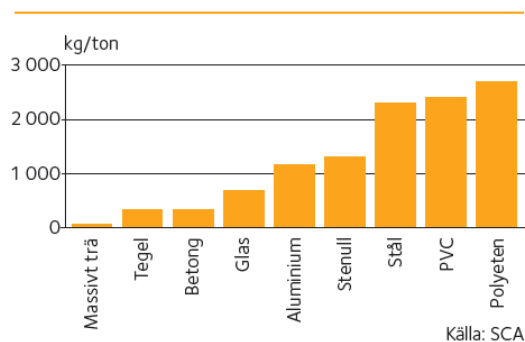
Figur 2 Samverkanskonstruktion mellan KL-trä och limträ. Del av pelar-balkstomme i parkeringshus.

3 Projekteringsaspekter för en större vårdbyggnad

Betong är idag det vanligaste materialet för byggnadsstommar för större sjukhusbyggnader i Sverige, följt av stål. Förutom det konkreta tekniska aspekterna vid val av stommar finns ett antal miljöfaktorer som med hjälp av allt mer utvecklade i LCA -analyser vägs in vid val av bärande stomme, yttervägg mm. Några av dessa är:

- Flera studier visar att trä som byggmaterial har betydligt mindre klimatpåverkan än andra byggmaterial. Enligt en sammanställning från SCA framgår det att det är stor skillnad på koldioxidutsläpp för olika byggmaterial.
- Ett vanligt argument för tunga stommar är att stommarna bidrar till en lägre energianvändning i driftsfasen. Studier av byggnader med olika termisk massa har genomförts och visar dock på relativt små skillnader (10-15%) och under specifika förhållanden.

Diagram 1 Koldioxid vid tillverkning av byggmaterial. Värdena ovan kan variera beroende på flera faktorer som till exempel energislag, transporter och produktionsmetoder.



3.1 Planlösningar och arkitektur

Trä medger stora möjligheter för projektörer av sjukhus och vårdanläggningar förverkliga sina intentioner med avseende på funktion och inre respektive yttre gestaltning. Möjligheten finns även att kombinera trä med andra material som armerad betong, stål och glas. Gestaltning av byggnader påverkas vanligtvis i större utsträckning av funktionen än av valet av stommaterial. Arkitektur kräver en gestaltningsidé som baseras på ytskiktens olika material och byggnadens utvändiga och invändiga geometriska förutsättningar. Skillnaden mellan en träbyggnad och en betongbyggnad är oftast bygghöjden eftersom träbjälklag i de flesta fall, för att uppnå likartad ljudisolering, blir något

tjockare än motsvarande betongbjälklag. Det innebär även att proportionerna i fasaden ändras vilket kan vara ovant och kan innebära att noggrannare fasadstudier krävs och att fönsterdimensioner behöver studeras med tanke på våningshöjderna.

Om man väljer att bygga med trä så innebär det inte att valet av stomsystem är givet. Det finns olika trästommar som klarar och lämpar sig bättre eller sämre för olika behov. Både stomsystemet och byggprocessen spelar in vid valet och påverkar gestaltningen. Om det finns särskilda önskemål om planlösningen bör det beaktas vid val av stomme, huruvida en stomme av korslimmade skivor (KL-trä), pelar-balk-lösning, hybridlösning alternativt annan stomme bäst uppfyller ställda krav. Väljer man att bygga med pelar-balk-lösning fås stora flexibilitet, långa spännvidder och möjlighet till stora öppningar. Väljs planelement fås ofta en mera sluten gestaltning som kanske har sina största fördelar som horisontalstabiliserande byggdelar. Med korslimmade träskivor, KL-trä, kan båda alternativen fås då en KL-träskiva klarar stora fribärande spännvidder även kan fungera som stabiliserande byggdel.

För sjukhusbyggnader eftersträvas en stomme som ger tillräcklig flexibilitet för att uppfylla de krav som ställs på sjukhusbyggnader. Stomme som klarar de bjälklagslaster som önskas enligt gällande norm har satts till minimum $q_{NL,k}=3,0$ kN/m².

Trästommar kan i princip klara samma planlösningar som vilket annat stommaterial som helst. Man kan välja pelar-balksystem och dimensionera dessa utifrån önskade spännvidder. Man kan välja regelsystem och integrera limträ- eller stålbalkar vid större öppningar. Man kan välja massivträsystem som klarar stora öppningar, utkragande partier och många ej ännu vanligt förekommande lösningar. Utmaningen är att finna ekonomiskt konkurrenskraftiga lösningar.

För stora spännvidder och stora laster är ett samverkansbjälklag kanske det bästa alternativet. Det kan vara uppbyggt med KL-trä i samverkan med betong och i vissa sammanhang även kompletterad med underliggande balkar av trä. Stabiliserande väggar kan ofta kompletteras med vertikala pelare som integreras i väggen.

3.2 Hygien

För många avdelningar i ett sjukhus ställs det höga hygienkrav, till exempel för förlossningsavdelningar och intensivvård. Multiresistenta bakterier gör det allt svårare att upprätthålla rätt nivå. Det innebär mattor med uppvik, fast undertak, täta konstruktioner och väl ventilerade rum. Alla dessa krav har liten inverkan på stommen och bör kunna uppfyllas av en trästomme. Täthetskravet betyder dock att rumsavskiljande delar bör dimensioneras med marginal för att minimera rörelser.

3.3 Miljöfördelar med att bygga sjukhus i trä

Mycket talar för att trä bör vara ett självklart alternativ att utvärdera. Miljöbelastningen – främst koldioxidutsläppen – från produktionen är väsentligt lägre än för motsvarande hus byggt med betong- eller stålteknik. Under byggnadens livstid lagras avsevärda mängder kol i stommen - faktiskt större mängd än utsläppen i produktionsfasen. Eftersom trä är förnybart material kommer man dessutom kunna tillgodoräkna sig den återvinningsbara resurs som finns tillgänglig när byggnaden eventuellt slutligen rivs. Större byggnader innebär större dimensioner vilket gör återvinning och återbruk mera sannolikt och därmed ytterligare fördelar för trä.

3.4 Ekonomiska aspekter

Det är det svårt i tidiga skeden att jämföra produktionskostnader mellan olika byggobjekt utan att göra omfattande undersökningar av ett stort antal objekt. Hitintills saknas tillförlitliga sammanställningar och data för stora offentliga byggnader i trä. En jämförelse med flervåningshus i trä kan ge inblick vilka möjligheter som finns:

- Flervånings trähus kan för vissa segment, exempelvis små lägenheter, studentboende och äldreboende vara mycket kostnadseffektiva.
- Andelen flervånings bostadshus i trä har ökat från noll procent år 1994 till ca 15-20 procent 2018, vilket tyder på att träbyggande är under stark utveckling och är konkurrenskraftig.
- Vid jämförelser av insatser och hyror mellan konventionellt byggda system och träbyggsystem i jämförbara lägen har det visat sig att träbyggsystem är konkurrenskraftiga.
- Nya byggsystem medför fler tänkbara leverantörer och flera alternativ vilket långsiktigt är fördelaktigt för beställare.

För ett äldreboende i Norge togs in ett antal offerter på alternativa utföranden. Ullerud Helsebygg, äldreboende i Drøbak, i Norge färdigställdes i januari 2017, se Figur 3.



Figur 3 Ullerud Helsebygg i Norge färdigställt januari 2017
Bild från presentation av Björn Lier, Trebruk AS

Alternativen omfattade två olika alternativ, korlimmat trä (KL-trä) respektive stål och betongalternativ. I detta fall visade sammanställning att massivträ fördelaktigast, se Tabell 2.

Tabell 2 Sammanställning av offert, ombyggnad och nybyggnad av Sykehjem Frog, Norge.

Del	Offert 1 Stål/betong (Nkr)	Offert 2 Stål/betong (Nkr)	Offert 3 Stål/betong (Nkr)	Offert 4 KL-trä (Nkr)
Nybyggnation	255 301	272 481	226 782	204 866
Övriga delar	81 192	60 433	54 315	60 134
LCC	93 697	61 224	122 760	104 936
Summa	430 190	394 138	404 737	369 936

Drift- och förvaltningskostnader

Idrottsanläggningar och andra offentliga lokaler som byggts med bärande trästommar har inte visat på högre drifts- och förvaltningskostnader. De få undersökningar som finns, visar ingen skillnad i drift- och underhållskostnader mellan byggnader med trästomme och övrigt bestånd. Den skillnad som föreligger kan oftast hänföras till exponerat trä i fasaden. Detta gäller även åtgärdskostnader vid vattenskador där till och med träalternativen har visat på en lägre åtgärdskostnad. Dock är det statistiska underlaget hitintills för litet för att kunna säga om det är någon skillnad på val av stommaterial.

3.5 Ljudkrav och vibrationer

Det finns många aspekter av ljud att beakta; luftljud, stegljud, flanktransmission, ljud från installationer, ljud från ytermiljö och efterklangstid. I den svenska normen anges tre alternativa

kravnivåer, där beställaren har möjlighet att själv besluta vilket krav som skall gälla för aktuellt byggprojekt.

Valet av stommaterial påverkar och leder till olika konstruktionslösningar. Speciellt för lätta konstruktioner som bjälklag och väggar av trä är det extra viktigt att rätta byggtkniska lösningar används. Eftersom sjukhus ofta är installationstätt så är det en fördel med både övergolv och undertak vilket ur ljudsynpunkt också är en fördel och gör att det bör vara relativt enkelt att uppfylla gällande normer, även med en träkonstruktion.

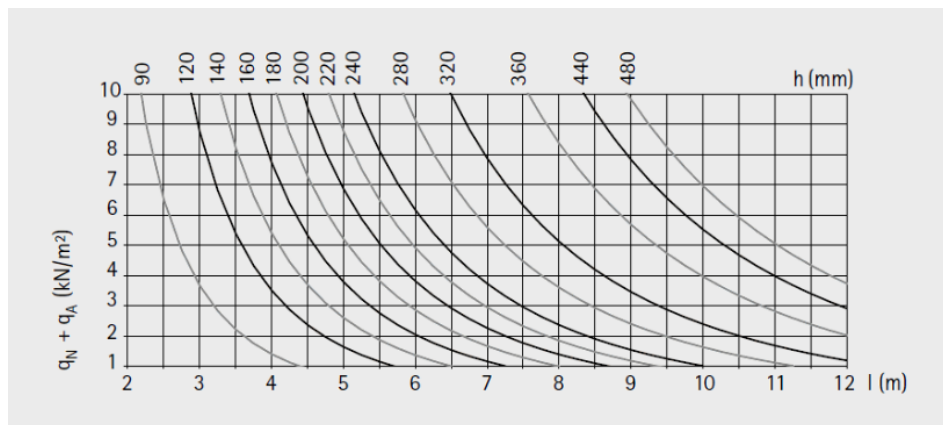
Mest effektivt för att uppfylla luftljudisoleringskrav i väggar är att använda dubbelväggskonstruktioner. Exempelvis gipsväggar, akustikreglar och fyllning med mineralull är en vanlig och effektiv princip. Motsvarande att använda trä istället för gips fungerar också effektivt. En motsvarande träbaserade dubbelvägg blir något tjockare eftersom gips har högre densitet jämfört med trä. Att använda enkelvägg eller vägg i KL-trä är också möjligt. Materialåtgången ökar genom att använda enkelvägg jämfört med dubbelvägg. Eventuella fördelar med enkelvägg är att minskad total tjocklek och att lågfrekvent ljudisolering blir som regel bättre i relation till sitt entalsvärde. Bra ljudisolering i låga frekvenser kan vara önskvärt framförallt i fasadväggar mot tung trafik, till exempel. Byggnation med trästomme klarar av och har inga utmärkande problem med luftljudisolering.

Viktigt för ljudkomfort är också efterklangstid. En kort efterklangstid ger en behagligare ljudmiljö. Även om det finns exempel på träbyggnader som har naturligt kortare efterklangstid jämfört med sten och betongbyggnader så har massivträbyggnader liknande behov av ljudabsorbenter som betongbyggnader. En vanlig lösning är nedhängande innertak med t.ex. mineralullskivor. En praktisk lösning där installationer blir övertäckta men samtidigt enkelt tillgängliga.

Vibrationer måste också beaktas i träbyggnader då trä är lätt i förhållande till sin hållfasthet. Det gör att vibrationer och ljudisolering ofta är dimensionerande och påverkande på den strukturella utformningen, mer än hållfasthet. För höga byggnader måste man ta hänsyn till vindlast och de vibrationer som kan uppstå. Detta gäller som regel byggnader över ca 14 våningar, vilket inte gäller detta fall och därmed inte ett problem för ett sjukhusbygge i trä.

Gående, vagnar med mera är lokala störningar på bjälklag. Dessa delar regleras generellt av Eurocode 5 (se krav nedan) för träbyggnation. Då Eurocode 5 är under revision så är det inte helt klaggjort vilka konstruktioner som framöver kommer att klara dessa krav. Det är dock högst troligt att t.ex. lite kraftigare KL-träbjälklag m.m. kommer klara av kraven, vilket också harmonierar med de lastkrav som man har på konstruktionen. Med de gamla (gällande) EC5 kraven så uppfyller redan idag t.ex. bjälklag upp till 8 meter (Moelevens byggsystem Trä8), vilket uppfyller de flesta fall för vårdbyggnader (se tidigare kapitlet krav). Det förekommer även bjälklag med längre spännvidder, t.ex. Lignatur AG erbjuder också bjälklag med förhöjd statisk last med spännvidder kring 10 meter med laster kring 5kN/m² (se Figur 4 nedan). Vanligt är emellertid att bjälklagen har någon form av

extra massa i form av pågjutning, liknande betong eller t.ex. grus, både för förbättring av vibrationer och lågfrekvent stegljudsisolering.



Figur 4. Figur på strukturell del av bjälklag från Lignatur AG på bjälklag som erbjuds, med avseende på last, bygghöjd på bjälklagsdel och spännvidd. Denna typ av lådbjälklagslösningar representerar de tunnare träbaserade bjälklagen i förhållande till spännvidd som finns på marknaden. Utöver angiven höjd / tjocklek på bjälklag tillkommer skikt för ljudisolering. Ett element som har stegljudsnivå $L_{n,w,p} = 52$ dB, $C_{1,100-2500} = 2$ dB, $C_{1,50-2500} = 5$ dB, har ca 60 mm extra stegljudsdämpande skikt ovanpå bjälklag. Nedhängande innertak för installationer tillkommer.

För vibrationskänslig större utrustning så innebär byggnation i trä förmodligen inte någon större skillnad. Som regel är bottenvåning i betong även i större träbyggnader. Ur praktisk synvinkel så placeras större och känslig laborietrustning som t.ex. MR (Magnetic resonance) ändå med fördel på bottenplan eller källarplan (en MR kan i vissa fall väga upp mot 10 ton). Det är enklare att frakta in större utrustning på bottenplan än på ett högre plan. Liknande resonemang kan föras kring större vibrationsgenererande utrustning likt generatorer, kompressorer mm. De bör emellertid vibrationsisolerats väl, där man tar hänsyn till både isolatorer, bäddastvhet, placering i förhållande till vibrationskänslig utrustning och ev. även delning av betonggol. Mindre vibrationsalstrande utrustning som placeras på träöverbyggnad kan också som regel avvibreras väl med isolatorer. Eftersom trä är lättare än betong så bör man placera sådan utrustningen i anslutning till förstuvningar, t.ex. ovanpå underliggande balkar och t.ex. på väggar som anslutande vägg bakom. Att få bra vibrationsisolering beror inte enbart på hur mjuk isolator som används utan på skillnaden mellan vibrationsisolatorns styvhet och underliggande strukturs styvhet (mobilitet).

Ytterligare en viktig aspekt är att sjukhus ska vara täta, inga sprickor får uppkomma vilket kan sprida ev. luftburna infektioner mellan olika rum. KL-träpaneler är höghållfasta och formstabila i sina fiberriktningar. Inga sprickor förväntas kunna uppstå i KL-träpaneler, till följd av enbart vibrationer, om panelerna är rätt tillverkade och om byggnaden är rätt dimensionerad. Täthet generellt, fuktrörelser mm behandlas dock inte i detta avsnitt.

I svensk standard, SS 25268:2007+T1:2017 beskrivs ljudisoleringskraven för vårdlokaler. Tre alternativa kravnivåer anges, A, B och C, där den sista anger grundkravet för nybyggnation. Stegljud i flervånings träbyggnader är ett område som fortfarande är under viss utveckling och där det råder viss osäkerhet kring krav. Forskning visar att stegljud ner till 20 Hz är viktigt för nöjdhet och bra korrelation mot uppmätta ljudnivåer. Idag mäter man ner till 50 Hz som lägst enligt tidigare nämnda standard. Inom flervånings bostadsbyggande med trästomme så är det vanligt att man siktar med stegljudsisolering en nivå högre än den tänkta uppfyllnadsnivån, dvs. vanligen så lovar man nivå C, men eftersträvar att uppfylla nivå B. Att enbart uppfylla C-nivån i ett flervånings trähus ökar risken för klagomål. Ytterligare en anledning har varit att vissa byggsystem har haft viss spridning i prestanda och på så sätt så får man även säkerhetsmarginal. Här föreslås därför att man därför hanterar stegljudsisoleringen på samma sätt, dvs. att man uppfyller minst B. I standard SS 25268 så anges också i vissa fall enbart en ljudklassning A. Då kravnivåerna är framtagna för betonghus så bör man således ha en liknande marginal även mot dessa högsta nivåer (ca 4-5 dB marginal), så länge som standarden inte revideras och mäter ner till 20 Hz.

I SS 25268:2007+T1:2017 beskrivs också krav för vårdlokaler med avseende på luftljudsisolering, efterklangstid och högsta ljudnivå från installationer. Dessa kravnivåer i SS 25268 fungerar väl även för träbyggnader. För ljudklass B (och A) vårdlokaler är krav på högsta vägda reduktionstal R'_{w} 52 dB. Exempel på träbaserad konstruktion som uppfyller detta, från Stora Enso, är 100 mm en-skikt CLT med totalt tre skikt 12,5 mm gipsskiva och 50 mm mineralull som ger en ljudnivåskillnad $D_{nT,w}$ på 60 dB (R'_{w} vägda reduktionstal och $D_{nT,w}$ vägda ljudnivåskillnader beskriver båda luftljudsisolering, men med vissa skillnader för kompensering för ljudabsorption. Normalt är dimensionering för R_{w} på den säkra sidan vid krav i $D_{nT,w}$). Dessutom blir det en lösning och som har bra brandskydd. Generella vibrationskrav för träbyggande generellt beskrivs i Eurocode 5 (EC5). Eurocode 5 beskriver utformningen av egenfrekvenskrav, impulshastighet och punktlastkriterie. Varje land har sedan nationellt tillägg där specifika krav för landet anges. Dagens version på EC5 är ifrågasatt. Bland annat så har vi i Sverige ett styvhetskrav (nationellt tillägg) på punktlastkriteriet på maximalt 1,5 mm/1kN. Det är ifrågasatt, då det riskerar att ge något för höga vibrationsnivåer. T.ex. i Finland har man motsvarande 0.5 kN/mm i sitt nationella tillägg till EC5. EC5 är under revidering vilket gör att man bör ta aktuella utkast i beaktande. Det senaste gällande utkastet (Project team SC5.T3, Milestone3, 31.10.2019). Det nya EC5 beräknas bli mer nyanserat och tillåta även bjälklag med egenfrekvenser under 8 Hz, men att den i så fall är tyngre och på så sätt mindre mottaglig för vibrationer.

Eurocode 5 räcker emellertid inte till enbart för att säkerställa vibrationsprestanda. För sjukhus så måste kravnivåer på medicinsk utrustning också ta i beaktande, samt speciell operationsmiljö. Dels fasta installationer och dels de som kan vara placerade i vårdlokaler. I Novak och Fégeants artikel "Vibrationsprojektering av sjukhus" (2009) görs en inventering av de vibrationsnivåer som ej får överstigas. I huvudsak är det en rad utrustningar som blir dimensionerande, t.ex.:

- MR (Magnetic resonance)
- CT (Computed Tomography)
- PET (Positronemissionstomografi)
- SEM (Svepelektronmikroskop)
- TEM (Transmissionselektronmikroskop)
- LSM (Laserscanmikroskop)
- MEG (Magnetoencephalography)
- Operationsmikroskåp.

I den inventerade utrustningen så ligger kraven på den känsligaste utrustningen på ner mot 2 - 4 $\mu\text{m/s}$ inom om 1 – 100 Hz. En större mängd utrustning ligger över 8 till 300 $\mu\text{m/s}$ inom om 1 – 100 Hz. I artikeln rekommenderas att man gör en vibrationsutredning eftersom tillverkare av känslig utrustning kan ändras över tid, samt att yttre faktorer som närliggande infrastruktur som vägar, järnvägar påverkar vilka vibrationsnivåer som kan uppnås. Med Finita Element-simuleringar kan man som regel analysera upp till 300 Hz. Även vibrationer till följd av t.ex. landande helikopter bör inkluderas ifall landningsplatta finns på eller i närheten av byggnad. Det gäller framförallt pulserande tryck från rotorblad mot byggnadsdelar som kan ge vibrationer.

När det gäller krav i operationsmiljö så har underlaget till denna utredning ingen sådan data. Emellertid i en artikel av UNGAR avhandlas vibrationskrav i operationsmiljö vilket ska ligga under 100 $\mu\text{m/s}$ (RMS-värde) ner till 8 Hz (därunder tillåts som regel något högre vibrationshastigheter), baserat på de två parallella standarderna ISO 2631-2 och ANIS/ASA S3.29. För operationssalar för precisionsingrepp som t.ex. neurologiska operationer är det vanligt med krav att vibrationerna skall understiga 25 $\mu\text{m/s}$. Bjälklagen måste klara av kraftiga fotislag ("footfall") utan att överstiga dessa värden. Prestanda som anges av tillverkare är begränsad och självklart att avgöra vilka bjälklag som klarar av dessa krav med nuvarande underlag. Bjälklag för operationssalar och även laboratorium där känslig utrustning kan vara placerad på träbjälklag rekommenderas således att göra noggrannare beräkningar för att kunna avgöra vilken typ av träbjälklag, och med vilken spännvidd, som klarar av dessa krav.

Tabell 3. Stegljudskrav i vårdlokaler enligt SS 25268:2007+T1:2017 (motsvarande tabell 4 i denna standard). Kravvärdena anger hösta vägda standardiserade stegljudsnivå $L'_{nT,w}$ baserat på mätstandard ISO 16283-2.

Typ av utrymme	Från utrymme med låg stegljudsbelastning $L'_{nT,w}$ [dB]				Från utrymme med hög stegljudsbelastning $L'_{nT,w}$ [dB]			
	Ljudklass				Ljudklass			
	A	B	C	D	A	B	C	D
4a Till utrymme för patienternas sömn och vila, samt till utrymme för gemensamma samlingar ^a <i>exempelvis patientrum, vårdrum, jourrum, samlingsal</i>	60	64	68	–	56	60	64	68
4b Till utrymme för aktivt vårdarbete eller särskilda krav på störfrihet ^a <i>exempelvis undersökning, behandling, förlossning, OP-sal inkl. stödjande ytor, sjukgymnastik, vilrum, konferensrum, utbildning</i>	64	–	–	–	60	60	64	–
4c Till övriga utrymmen där människor vistas mer än tillfälligt <i>exempelvis expedition, kontor, expedition med samtalskapacitet, laboratorium, dagrum, väntrum, personalrum</i>	68	–	–	–	64	64	68	–
4d Från och till annan verksamhet	64 ^b	64 ^b	68 ^b	–	60 ^b	60 ^b	68 ^b	–

^a För ljudklass A och B ska även $L'_{nT,w} + C_{1,50-2500}$ uppfylla ställda kravvärden.
^b Kravet avser normaliserad stegljudsnivå, $L'_{n,w}$.

3.6 Brand

I Sverige ingår sjukhus i byggnadsklass Br0, eftersom de är byggnader med mycket stort skyddsbehov avseende brandskyddet (BBR, 2011). Dimensionering av brandskyddet i en Br0-byggnad kräver analytisk dimensionering, som i första hand innefattar identifiering av verifieringsbehovet och i andra hand verifiering att designlösningar är tillräckliga. Riskidentifiering är en viktig del av analytisk dimensionering och ska identifieras baserat på byggnadens utformning och funktion. Ett exempel på risk förknippad med funktionen hos ett sjukhus är att ett stort antal människor inte kan utrymma eller kräver extra lång tid för utrymning. Risker förknippade med en sjukhusbyggnads utformning är exempelvis storleken på brandceller eller materialet i bärande element.

Den mest signifikanta skillnaden mellan att använda trä i bärande element och att använda konventionella material såsom betong eller stål är dess brännbarhet. Om träkonstruktionen tillåts bidra till branden så ska detta bidrag beaktas i analysen av åtminstone med avseende på följande risker:

- Risken för ökad rökutveckling, ökad toxicitet och minskad siktsträcka.
- Kortare tid till eller ökad risk för övertändning.

- Risk för ökad bränslemängd, brandintensitet och/eller förlängt brandförlopp och exponering mot bärande element.
- Risk av ökad exponering till fasaden från brandplym.
- Risk för utveckling av bränder i dolda hålrum.
- Risk för brandspridning via genomföringar eller andra hål.
- Risk för brand och brandspridning under byggnadsfasen

Listan ovan är inte nödvändigtvis komplett utan en sådan ska identifieras av en brandingenjör för varje enskild Br0-byggnad. Ett tillräckligt brandskydd ska reducera dessa risker till en acceptabel nivå. Ett vanligt och enkelt sätt att minska de identifierade riskerna relaterade till brännbarheten hos trä är att erhålla tillräckligt med skyddsbeklädnad så att träet inte kolar eller bidrar till förbränning under branden.

Den enda modellen som är verifierad mot ett dussintal fullskaliga rumsbränder (Brandon, 2018) beskriver tjockleken på samt antalet skivor av brandskyddsgips som krävs baserat på brandcellsstorlek, ventilationsöppningar (fönster), och bränslemängden. För att minska risken (och sannolikheten) att alla skyddande skivor ramlar av, kan en probabilistisk analys som beaktar sannolikhetsfördelningen av bränslemängden erhållas genom att exempelvis genomför Monte Carlo-beräkningar som inkluderar ovan nämnda modell (Brandon, 2018). Dessutom finns ytterligare aspekter att beakta för att eliminera eller reducera alla relevanta identifierade risker. Exempelvis kan bristfälligt uppsatta gipsskivor leda till för tidigt nedfall (Just & Brandon, 2019) och hål i skivor eller felaktigt installerade genomföringar kan potentiellt leda till bränder i dolda hålrum (Brandon et al. 2018). Dessa risker bör alltså också beaktas i analysen.

Om bärande träelement lämnas oskyddade och synliga måste alltså alla relevanta risker beakta konstruktionens medverkan i branden och i denna analys utgör träts bidrag till brandutveckling samt ökad rökutveckling de viktigaste aspekterna. Åtgärder som kan tillämpas för att reducera vissa risker är exempelvis:

- Användning av sprinklers för att minska risken för övertändning, rökutveckling brandspridning etc.
- Förbättra sprinklersystemets robusthet genom att erhålla två tillopp för vatten.
- Skyddsimpregnering av exponerade träelement för att minska risken för övertändning eller spridning.
- Design för avtagande eller självslocknande bränder genom att (1) begränsa exponerade ytor, (2) använda förädlade träprodukter som inte delaminerar som en följd av brandpåverkan och (3) tillräckligt skydd av icke-exponerade träelement, (Brandon, 2018).
- Utformning av fasader som beaktar bidraget av träkonstruktionen till brandplymen ut ur brandcellens öppningar.

Det bör nämnas att många forskningsprojekt för tillfället pågår och att tidigare erfarenhet kring några av de ovan nämnda riskerna är väldigt begränsad. För närvarande är alltså en analytisk dimensionering specifikt för sjukhusbyggnader med exponerad träkonstruktion en tuff utmaning.

Kraven på brandmotstånd hos byggnader är idag desamma oavsett byggmaterial. Byggnormens krav på brandmotstånd gäller i första hand hur de som befinner sig i byggnaden skall skyddas och kunna utrymma byggnaden. Kraven gäller därför hur länge den bärande stommen skall motstå brand och hur länge avskiljande byggnadsdelar skall uppfylla sin funktion. Dessutom finns det krav på hur lättantändligt ytmaterial får vara med hänsyn till hur fort branden i en brandcell får utvecklas. Trä som material har egenskaper som gör att det, när det brinner, behåller bärigheten länge.

Normalt byggs trästommar in och bekläms med brandtåligt material, främst gipsskivor, för att uppnå ett bestämt brandmotstånd. Ett sprinklersystem kan ytterligare bidra till minskad risk för såväl antändning som brandspridning. Detta förbättrar brandsäkerheten för de som befinner sig där branden uppstår i alla typer av byggnader.

3.7 EL

Det finns lång erfarenhet av elsystem i byggnader av trä i Sverige. När våra hem började att elektrifieras, för drygt hundra år sedan var trä det vanligaste byggmaterialet. Det innebar, bland annat, att fram till 1994 så krävdes det inte jordade uttag i bostadshus, detta eftersom trä materialet inte är elektriskt ledande, och gav genom sin isolation ett beröringsskydd (skydd mot strömgenomgång). Eftersom många bostäder, som är elektrifierade, använde trä som materiel i stommen så finns det stora möjligheter att dra nytta av erfarenheterna därifrån.

Den ökade användningen av energisnåla elapparater har inneburit en ökad störningsgenerering (ledningsbunden och i luften). Något som måste beaktas vid byggnation av lokaler med störningskänslig verksamhet (störningskänsliga apparater). Elsystemet kan vara en distributör för störningar, beroende på hur det är utfört och vilka störkällor (elapparater) som är anslutna. Användning av material som har en viss eller hög elektrisk ledningsförmåga som metall, betong etc. innebär en frånvaro av isolation att materialet men ger en viss skärmande effekt av elektriska fält, vilket ibland kan vara efterfrågat för att begränsa störningsutbredning. För att begränsa magnetiska fält behöver materialet vara magnetiskt ledande.

Möjliga åtgärder för att begränsa elrelaterade störningar i sjukhusbyggnader i trä;

- Användning av regler och byggelement i metall. Det är väldigt vanligt att, i träbyggnader, använda byggkomponenter i metall, som fästelement, stålregel, balksko etc. Genom att ansluta dessa metallstrukturer till den potentialutjämning som alltid skall utföras, så skapas

en generaliserad skärm som minskar elektriska fält i byggnaden och därigenom spridning av störningar genom elektriskt fält.

- Öka den elektriska ledningsförmågan i trästomme genom att placera ledande materiel t.ex. hönsnät eller metallfolie i väggar.
- Utföra elsystemet i balanserat utförande (split phase) med den egenskapen att elsystemet genererar två elektriska fält, i mofas, som tar ut varandra.

3.8 Byggfysik/Täthet

Sammansatta konstruktioner och styrda ventilation ställer stora krav på täthet hos konstruktioner. och god täthet gäller för byggnader oberoende av material. För sjukvårdsbyggnader är dock denna punkt speciellt viktig eftersom det förekommer hygienkrav och risken för smittspridning via otätheter.

Genomförda byggobjekt som till exempel Portvakten i Växjö, med flera, visar att det är fullt möjligt att uppnå passivhusstandard för flervånings bostadshus i trä vilket bör vara tillräckligt även för en vårdinrättning.

3.9 Byggnadsstomme och byggdelar

Trä har utmärkta hållfasthets- och styvhetsegenskaper vilket gör att trä kan konkurrera med andra material i stora byggnader. I förhållande till sin egetyngd har trä större bärförmåga än de flesta andra byggmaterial, och därför kan man bygga stora konstruktioner som klarar höga laster. Eftersom tvärsnittet kan utformas fritt och geometrin kan varieras och även krökas i planet finns det stora möjligheter att använda trä på nya sätt. För närvarande används trä för allehanda konstruktioner, småhus, flervåningshus, hallbyggnader, idrottsarenor och broar.

Bärande träelement kan i princip klara samma planlösningar som vilket annat stommaterial som helst och det finns möjlighet att välja mellan ett antal olika bärande system. Valet av bärande system bestäms av byggobjektets specifika krav. De vanligaste bärande systemen är pelar-balk-stommar, regelstommar och skivstommar. Alla dessa bärande system kan oftast integreras i prefabricerade lösningar eller byggas på plats. Man kan välja pelar-balk-system och dimensionera dessa utifrån önskade spännvidder.

Att bygga med trä gör att man också har stora möjligheter att välja byggmetod. Väljer man att bygga på plats har man den största flexibiliteten och även med prefabricerade planelement har man stor flexibilitet vad gäller öppna planlösningar. Att bygga med prefabricerade volymer ger kort byggtid men kan medföra en mindre flexibilitet med avseende på planlösningar. Volymbyggande kräver därför

vanligtvis mer arbete i tidiga skeden för att kunna samordna produktion för att uppfylla intentionerna med byggobjektet.

För stommens "stryktålighet" räcker det inte att enskilda byggnadskomponenter har stor styrka. För stora byggnader finns det ett antal faktorer som särskilt bör beaktas och som har nämnts i olika kravsammanställningar för sjukhusbyggnader:

- Förbindningar måste kunna tåla stor deformation utan att helt förlora bärförmåga.
- Konstruktioner som helhet ska kunna ta upp betydande energi i ett skadeskede, så att skadeutbredning i vertikal- och horisontalled begränsas.
- Särskilt sårbara punkter som vid skada kan leda till stora raskonsekvenser måste elimineras.

Bärverk skall utföras med sådant generalitet att ett byggnadsverk kan förändras vid ett flertal tillfällen under byggnadsverkets livslängd. Erfarenheterna från fastighetsutveckling med ett tidsperspektiv över hundra år har visat på att hus- och installationsdelar som kan nyttjas under en lång tidsperiod belastar miljön mindre i relation till selektiv eller total rivning. Vid ny- och tillbyggnad samt stora förändringar skall generalitet beaktas såsom:

- Pelar-balkstommar är att föredra enhetligt rutsystem för stommen, minst 7,5x7,5 m².
- Tillräckliga våningshöjder. Rumshöjder 2400/2700 med 1200/900 installationsutrymme, 300 mm bjälklag vilket ger 3900 i våningshöjd.
- Våningsplaner på samma nivå, ev. generalplanehöjder inom anläggningen beaktas.
- Stomsystem som tillåter samordnad placering av installationszoner, horisontella och vertikala.
- Rumsbegränsningar bör utgöras av icke bärande mellanväggar.
- Stomyttväggar med tung stomme som lagrar och utjämnar temperatur över dygnet skall i första hand väljas.
- Bjälklag skall dimensioneras enligt "Lastgrupp 2. Samlingslast".

Ovan angivna krav med vissa anpassningar kan uppfyllas med en trästomme. Överdimensionerade förbindare med avseende på robusthet kan i vissa sammanhang behövas med detta gäller oavsett stommens material. Trämaterialet sätter vissa begränsningar när det ekonomisk rymlighet och konkurrenskraft med beaktande av last och spännvidd, våningar etc. För mindre vårdbyggnader (2-3 våningar), se exemplet Östra Sjukhuset på sidan 30, kan kraven på stomme i många fall jämföras med andra verksamheter såsom hotell och kontor vilket är områden där trä idag används som bärande stommar. För större sjukhus/byggnader finns tekniker för att klara de lastnivåer, våningshöjder och andra utmaningen som ställs vid kravformuleringarna. Inte minst de senaste årens utveckling och byggande av höga träbyggnader (Norge 18 våningar, kulturhuset i Skellefteå 18 våningar) har visat att det är möjligt.



Figur 5 Kulturhuset i Skellefteå, evenemangs-scener för 100-1500 personer. Hotelldel med 410 bäddar, 20 våningar. Illustration White arkitekter.

3.10 Ytterväggar och bjälklag

Ytterväggar skall utföras med täthet enligt byggregler och skall skyddas mot inträngning av fukt under byggtid. Ytterväggar bör utföras i värmetrög, tung konstruktion. Bjälklags fria spännvidder skall dimensioneras så att byggnad kan förändras utan väsentliga hinder av bärande byggdelar.

En yttervägg av trä kan göras lika tät som alternativa vägglösningar och för fuktskydd under byggtiden finns det lösningar med heltäckande väderskydd eller delvis täckande väderskydd. Nyttan av att utföra ytterväggen inklusive stommen som värmetrög har diskuterats. En större byggnad innehåller ofta stora tvärsnitt och mycket material och blir i och med detta trög i avseendet på temperaturfluktuation. Korslimmade skivor av trä, KL-trä, ett bra alternativ vilket ger en värmetrög stomme i likhet med betongalternativet.

Stora spännvidder med hög last kan innebära att ekonomiskt rimliga dimensioner för ett träalternativ överskrids. Om så skulle vara fallet finns möjligheten till hybridlösningar, se kapitel 4.

3.11 Ytskikt – Interiört

Träytor har i olika mindre studier visat sig påverka konvalescenstiden, minskar stress och ökar välbefinnandet enligt Marjut Wallenius, doktor i psykologi vid universitetet i Tammerfors. I en artikel i

WOODPRODUCTS presenteras kortfattat arbetet av upplevelse av material som fastställdes med hjälp av frågeformulär där respondenterna utvärderade sin egen erfarenhet på olika skalor. Frågeformulären tittade också på hur trä påverkar människors beteende. En studie gjord på ett servicecenter för äldre visade att användningen av trä i interiörer påverkade äldres beteende positivt. - Trä har psykologiska effekter på människor och en liknande stressreducerande effekt som naturen, säger Wallenius.

Likartade studier i Japan har det fastställts att patienter som tillbringar långa perioder på sjukhus behöver atmosfären i en avkopplande och lugnande, vilket positivt påverkar deras humör och återhämtningsprocess. Genom att använda naturligt massivt trä har man funnit att luftfuktigheten inomhus i sjukhus kan hållas optimal ur ett hälsoperspektiv, särskilt för de som lider av allergier och astma. Vidare säger Wallenius:

- Även om studierna ännu inte har varit tillräckligt systematiska och omfattande, visar observationer hittills att människor reagerar på trä i inre både psykologiskt och fysiologiskt, och att denna reaktion vanligtvis är positiv.

Projektet har inte behandlat interiöra ytskikt utan enbart studerat om kraven på ytskikt medför att en stomme av trä ej kan nyttjas. Eftersom de flesta ytor kommer att kläs med någon typ av skivor finner vi inte att det bör vara ett hinder för att inte välja ett träalternativ. Valet om vilka ytor som göras synliga trä med t.ex. KL-trä får tas från objekt till objekt. Allt fler studier och arbeten pekar dock på att ytskikten med trä har en positiv påverkan på människans återhämtning.

3.12 Ytskikt – Exteriört

En fasad har som uppgift att skydda den bakomliggande strukturen mot nederbörd, sol och vind men även ge en byggnad dess gestaltning. Men en träfasad kan gestaltning uttryckas på många olika sätt med en stor variation i det estetiska uttrycket, olika ytbehandlingar och kulörer. Men det är även möjligt att variera strukturen och riktningar tex liggande eller stående panel eller blanda med andra material som puts. Valet av material baseras på krav och förväntningar när det gäller livslängd, risk för angrepp och dess konsekvenser samt underhåll och reparationer. Det är viktigt att få in kvalitetskraven i förebyggande led så att rätt kvalitet på träråvara som ytbehandling erhålls.

Träfasader på flervåningshus blir allt vanligt förekommande och några exempel på det visas i Figur 6.



Figur 6 Exempel på hus med träfasader ytbehandlande och obehandlade

När det gäller brand och träfasader så måste det beaktas vid flervåningsbyggande i trä tex genom att använda sprinkler, göra tekniska byten eller använda brandskyddsfärg/brandskyddsimpregnering.

4. Lämpliga stomsystem

Denna del av förstudien visar på en möjlig lösning av stomme av trä för större sjukhusbyggen baserad på i första hand stommens bärförmåga. Med stommens bärförmåga avses vanligtvis stommens förmåga att motstå vertikala laster. För lätta byggsystem, pelar-balkstommar och KL-trä stommar påverkas måtten på de vertikala dimensionerande även av de horisontella laster som verkar på byggnaden.

Med utgångspunkt från de kravställningar som framkommit under projektets inventeringsfas pekar det mot en pelar-balklösning med ett rutnät, minimum 7,5x7,5 m². Dimensioneras konstruktionen med rekommenderade karakteristisk last av $q_k=5,0$ kN då fås en stomme som klarar många av de krav som ställs gällande flexibilitet och hög bärförmåga.

Med stomstabilitet avses stommens förmåga att motstå horisontella laster. För lätta byggsystem, som trästommar eller träregelstommar, påverkas denna förmåga i stor utsträckning också av de vertikala laster som verkar på byggnaden. Stabiliserande system för träbyggnader är en integrerad del av det vertikalt bärande systemet och byggsystemet i sin helhet. Det är därför viktigt att så tidigt som möjligt tydliggöra hur de horisontella lasterna förs ned till grunden via bjälklag och väggar eftersom det påverkar utformningen av hela byggnaden. En dimensionering av byggnadens stabilitet behandlar såväl enskilda byggdelar såsom väggar och bjälklag, och samverkan mellan dessa byggdelar då de sammanfogas med hjälp av olika förband.

En överslagsberäkning för en fiktiv planlösning skulle ge följande dimensioner för olika byggdelar:

- Pelare 215x300/540 mm².
- Bjälklag KL-trä $t_j=280$ mm.
- Balkar ytterfält 215x900 mm².
- Balkar innerfält 2x215x900 mm².
- Stabiliserande ytterväggar och kärna, KL-trä.

Stora spännvidder och stora laster innebär stora trädimensioner. För att minska på dimensionerna men också för att optimera lösningar finns möjligheten till hybridlösningar. Med hybridlösningar avses oftast samverkankonstruktioner mellan två material och där de olika egenskaperna tillsammans ger ett mervärde. En metod som har använts för bjälklag har varit betong och trä (limträ alternativt KL-trä) där betongen tar tryckkrafter och trädelen tar dragkrafterna. För att klara stabiliseringen för höga byggnader (högre än 12-14 våningar) används ofta en kärna av betong kompletterande med stabiliserande ytterväggar av KL-trä. Det ger även möjligheten till samverkan mellan KL-träskivan och limträpelare i fasaden vilket gör att dimensionerna kan minskas.



Figur 7 Samverkansbjälklag trä och betong



Figur 8 Stabiliserande väggskiva under montage

För att klara både horisontella laster men även brandkrav med ekonomiska realistiska villkor kan fördelningen trä-betong med avseende på stabilisering och bärförmåga enligt följande:

- Trapphus och hissar placeras i byggandens kärna och byggs med betong.
- Ytterväggar görs av stabiliserande KL-träskivor kompletterade med limträpelare.
- Samverkansbjälklag trä och betong.

Denna lösning har bland annat använts i ett 18 våningshus i Wien, se Figur 9.

En annan lösning är att använda sig av pelar-balklösningar i limträ. se Figur 10



Figur 9 Stabiliserande kärna av betong



Figur 10 Exempel på Pelare-Balk stomme

5. Diskussion och slutsatser

Förstudien har haft som mål att visa på fördelar (möjligheter) med ett träalternativ, visa på eventuella nackdelar, visa på lämpliga byggnadsstommar eller byggsystem av trä och visa på forsknings- och utvecklingsbehov.

Det finns ett antal fördelar med att bygga i trä, några av dessa har diskuterats i rapporten såsom:

- Minskad klimatpåverkan, i de flesta rapporter och undersökningar som gjorts talar det mesta för att använda sig av trä.
- Ökad konkurrens, med ökad användning av trä och träkomponenter i byggandet medför ökad kunskap inom projektering, byggproduktion etc. Det medför att allt fler entreprenörer och projektörer kommer att kunna erbjuda sina tjänster vilket ger ökad konkurrenskraft.
- Möjligheten till prefabricering, trä är ett lätt material och därmed väl anpassat för prefabricering. Det ger även snabbt montagen samt låga transportkostnader.
- Träbyggandet ger även stora möjligheter gällande flexibilitet såväl för utformning som val av byggmetod.

En grundförutsättning för aktörernas val av att bygga med trä som stommaterial är att det går att uppfylla och överträffa alla krav i Boverkets byggregler. Att vissa saker ibland sägs vara till träalternativets nackdel hänger samman med osäkerheter kring till exempel:

- *Brand*, brandkraven för ett större sjukhus är höga vilket ofta innebär många lager gips. Även om det finns god kunskap inom inbränning, brandspridning etc för trä och trästommar så medför trä en brandbelastning. För närvarande är alltså en analytisk dimensionering specifikt för sjukhusbyggnader med exponerad träkonstruktion en tuff utmaning. Normalt byggs trästommar in och bekläs med brandtåligt material, främst gipsskivor, för att uppnå ett bestämt brandmotstånd. Ett sprinklersystem kan ytterligare bidra till minskad risk för såväl antändning som brandspridning.
- *Ljud och vibrationer*, i de flesta fall klarar dagens träkonstruktioner de krav som ställs. Dock finns det lokaler i ett sjukhus där utrustning är dimensionerande och där det tillåts enbart små vibrationer. För att klara dessa lokaler kan det krävas utveckling av nya bjälklagstyper.
- *Bärighetsfrågor*, förstudien visar på att i de flesta fall bör det gå bra att använda sig av trästomme för sjukhusbyggen med avseende på bärighet, rimliga spännvidder, våningshöjder, etc.

Förslag på bärande stomme av trä

Kravformuleringen gör att troligen är en pelar-balklösning i trä med relativt stora spännvidder (8-9 m) som kommer att vara den mest gångbara stomlösningen. Bjälklagens stora spännvidder tillsammans med stor nyttig last ger stora bjälklagstvärsnitt och detsamma gäller för pelare. Det är fullt möjligt att

tillverka och bygga en trästomme som uppfyller dessa krav men kostnadsmässigt kan det vara svårt att klara konkurrenskraften med andra material. För att kunna ta vara varje materials fördelar är en lösning med hybridkonstruktioner kanske den optimala lösningen. Metoden har använts i Europa på många olika byggen och har den fördelen att varje enskilt materialslag används där det gör bäst nytta. I Sverige har metoden inte använts i större skala och det krävs en viss utveckling och anpassning från tänkbara leverantörer/tillverkare.

Fortsatt utvecklingsarbete

Denna förstudie har varit begränsad i omfattning och ytterligare förarbeten kommer att krävas för att med säkerhet uppnå målet med att bygga ett sjukhus med bärande trästomme till en konkurrenskraftig kostnad. Följande utvecklingsarbete och undersökning bör göras:

- Utredning av vilka träbaserade bjälklagsalternativ som är konkurrenskraftiga baserade på vald kravformulering (objektsspecifikt).
- Verifiering/simulering alternativt utveckling av bjälklag för lokaler med känsliga utrustning.
- Verifiering/simulering alternativt utveckling störningsfria rum med avseende på utrustning.
- Ekonomiska förkalkyler.
- Verifiering/simulering byggprocess med prefabricerade element för stora byggnader.
- Industriellt intresse för prefabricerade hybridlösningar.
- Analytisk dimensionering i brandlastfallet specifikt för en sjukhusbyggnad med målsättningen att specificera mängden exponerat bärande trä.

SLUTSATS

Det är fullt möjligt att bygga stora sjukhus i trä. Projektet har berört de flesta delar som kan vara aktuellt för ett sjukhusbygge. Genomgången inom brand, ljud, vibrationer och bärförmåga visar att i de flesta fall uppfyller dagens trälösningar de krav som kan komma att ställas för en vårdbyggnad. Det finns dock ett antal lokaler inom en sjukhusbyggnad där det är tveksamt om ett träalternativ är konkurrenskraftigt (utrymmen med störningskänslig utrustning). För att komma vidare krävs det några klarlägganden främst inom brand men även bärighet och ekonomi.

6. Vad har byggts/projekterats?

Under de senaste åren har det utvecklats innovativa tekniker för design och konstruktion av flervåningshus i trä. Funktionen med avseende på akustik, brand och bärförmåga har blivit bättre. Produkter såsom korslimmat massivträ, LVL och limträ har bidragit till byggandet av allt fler stora trähus varav några används som vårdbyggnader. På följande sidor presenteras några träbaserade exempel som inspiration men även koppling mot vårdbyggnader:

Östra sjukhuset – 2 400m² i två plan



<https://expandia.se/referenser/östra-sjukhuset-göteborg/>

Östra sjukhuset i Göteborg hyr för närvarande två tillfälliga byggnader från Expandia. Kirurgmottagningen har haft full verksamhet i Expandias moduler sedan 2014 med utökning våren 2017, och hösten 2018 utökar förlossningsavdelningen sina lokaler med en ny paviljong. Sjukhusmiljöer har väldigt höga och krav, både vad gäller att klara av en steril miljö, hårda tillgänglighetskrav och även larm och kallelsesystem som i detta fall integreras med befintliga system. Till Östra sjukhuset byggdes specialmoduler för att tillgodose kraven men de är i grunden baserade på Expandias K2000-moduler. De två byggnaderna består totalt av 26 moduler i två våningar och har fasadskivor i grått kompositmaterial.

Nuuk, Grönland – Byggnation pågår. 3 300m²



whitearkitekter.com/se/project/psykiatrisk-klinik-i-nuuk/

Information och bilder hämtade från:
White Arkitekter

Den psykiatriska kliniken är belägen just utanför de centrala delarna av Nuuk och nya byggnaden ligger precis intill de befintliga. Den psykiatriska kliniken i Nuuk balanserar lugn, läkande och trygg arkitektur med det grönländska landskapet och de existerande byggnaderna. Genom att tillämpa principerna för 'healing architecture' skapas en öppen, läkande och omvårdande miljö för patienterna och en säker och attraktiv arbetsplats för personalen. En vision för projektet är att säkerställa ett rikligt dagsljusinsläpp, ett grepp som också erbjuder unika vyer över det omgivande landskapet. Förslaget använder rationell byggteknik med få byggmaterial, vilket minimerar byggtiden, minskar transportkostnader och säkrar en rationell och effektiv projektleverans som är avgörande i dessa arktiska miljöer.

LSS-boende för unga vuxna i Alvesta, 2015



<https://gbbygg.se/projekt/lss-boende-i-alvesta/>

12 lägenheter och gemensamhetsutrymmen. Det här ett trähus gjort i massivt trä med passivhus standard.

Lindesbergs Hälsocenter



<https://whitearkitekter.com/se/project/lindesberg-halsocentrum/>

Information och bilder hämtade från:
White Arkitekter

Huvudentrén till bostäder, vårdcentralen och alla andra lokaler sker inifrån gallerian. Det höga utrymmet med glastak utfört med träkonstruktion är hjärtat av byggnaden, det är ett vardagsrum för alla boende och besökande. Bostäderna är inte företrädesvis ritade som vårdlägenheter, men det finns möjlighet att använda de som detta genom generösa mått, få hörn, pardörrar och skjutdörrar och badrum för även möjlig personal. De riktar sig mot boende med särskilda behov oavsett ålder egentligen. Klart 2019.

Ullerud Helsebygg, Drøbak, Norge



<http://www.bygg.no/article/1308922>

Ett sjukhem på fyra våningar med en bruttoareal på 12.000 kvadratmeter. Norges største sykehjem i massivtre. Det har passivhusstandard og skal sertifiseres som BREEAM - NOR «Very Good»

Hjältarnas hus i Umeå – Boende



[https://whitearkitekter.com/
se/project/hjaltarnas-hus/](https://whitearkitekter.com/se/project/hjaltarnas-hus/)

Till allra största delen är byggnaden konstruerad av trä, både i de bärande bjälklagen men också rent dekorativt såväl invändigt som utvändigt. Till fasaden valdes bland annat partier av figursågad tricoya, en ny trävaruprodukt med lång livslängd även i obehandlat skick. Hjältarnas hus består av två sammansatta byggnader där den äldre delen ursprungligen uppfördes under åren 1913-1914 som bostad åt sjukhusets grindvaktare. Strategiskt placerat i ena hörnet av den vackra sjukhusparken.

Referenser

- /1/ Elfors S.: Byggnadsstommens klimatpåverkan, Livscykelperspektiv på olika material, SKL 2017
- /2/ Andre'n Y.: Fullt flexibelt, Flexibilitet och generalitet i sjukhusbyggnader, SKL 2008
- /3/ Fröst P.; Hammarling C.: Framtidens vårdbyggnader, Framtidens vårdbyggnader bjuder in patienten att vara med skapare i sin egen vård. SKL 2017
- /4/ Laukkanen M.: *The use of wood in hospital construction supports convalescence*, artikel WOODPRODUCTS 2014
- /5/ Penalzoza D., Noren J., Eriksson P.: Life Cycle Assessment of Different Building Systems, The Wälludden Case Study, SP Report 2013:07
- /6/ Larsson M., Erlandsson M., Malmqvist T., Kellner J.: Byggnadens klimatpåverkan – Resultat från SBUF-projekt nr 13090- Sammanfattning för beslutsfattare, Sveriges Byggindustrier 2016
- /7/ SVENSK STANDARD, S. S. 25268: 2007. Byggakustik–Ljudklassning av utrymmen i byggnader–Vårdlokaler, undervisningslokaler, dag-och fritidshem, kontor och hotell, 2007.
- /8/ NOVAK, Andreas, FÉGEANT, Oliver. Vibrationsprojektering av sjukhus, Bygg & Teknik, 2009, 3: 48–52.
- /9/ UNGAR, Eric E. Vibration criteria for healthcare facility floors. Sound and vibration, 2007, 41.9: 12-27.
- /10/ EN 1995-1-1 Eurocode 5: Design of timber structures–Part 1.1: General rules and rules for buildings. 2004.
- /11/ INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 2631-2 Evaluation of Human Exposure to Whole-body Vibration-Part 2: Continuous and Shock-induced Vibration in Buildings (1 to 80 Hz). 1989.
- /12/ ANSI/ASA S3.29. American National Standard Guide to the Evaluation of Human Exposure to Vibration in Buildings. 1983 Edition, April 4, 1983.
- /13/ Att välja trä: Svenskt Trä, 2013
- /14/ Vattenskadeundersökning: VVS-installatörerna 2002.
- /15/ BBR 2011:6 – Föreskrifter och allmänna råd. Boverket.
- /16/ Brandon D. Fire Safety Challenges of Tall Wood Buildings – Phase 2: Task 4 – Engineering methods. NFPA report: FPRF-2018, 2018.
- /17/ Brandon D., Just A., Andersson P., Östman B. Mitigation of fire damages in multi-storey timber buildings – statistical analysis and guidelines for design. Brandforsk:2018:2:2., 2018.
- /18/ Just A. and Brandon D. Optimizing the fire protection of massive timber structures. RISE-report 2019-109, 2019.
- /19/ Noren A., Akander J., Isfält E., Söderström O: The effect of Thermal Inertia Energy Requirement in a Swedish Building-Results Obtained with Three Calculation Models. KTH 1999.
- /20/ Persson J., Vogel D.: Utnyttjande av byggnaders värmetröghet. LTH 2011



Glasforskningsföreningen
Glafo



Linnéuniversitetet

SMART HOUSING SMÅLAND

Vejdes plats 3
352 52 VÄXJÖ
TEL 010-516 50 00
E-MAIL INFO@SMARTHOUSING.NU
SMARTHOUSING.NU