

Marek Pavlas

Dřevostavby z vrstvených masivních panelů



▶ Technologie **CLT**

Marek Pavlas

Dřevostavby z vrstvených masivních panelů

Technologie CLT

Grada Publishing

Upozornění pro čtenáře a uživatele této knihy

Všechna práva vyhrazena. Žádná část této tištěné či elektronické knihy nesmí být reprodukována a šířena v papírové, elektronické či jiné podobě bez předchozího písemného souhlasu nakladatele. Neoprávněné užití této knihy bude **tretně stíháno**.

DŘEVOSTAVBY Z VRSTVENÝCH MASIVNÍCH PANELŮ Technologie CLT

Ing. arch. Marek Pavlas, Ph.D.

Vydala Grada Publishing, a.s.
U Průhonu 22, Praha 7
obchod@grada.cz, www.grada.cz
tel.: +420 234 264 401, fax: +420 234 264 400
jako svou 6327. publikaci

Odpovědný redaktor Tereza Otcovská
Sazba Martina Mojzesová
Jazyková korektura Martina Mojzesová
Recenze doc. Ing. Vladimír Bílek, CSc., a prof. Ing. Miloslav Novotný, CSc.
Fotografie v textu z archivu autora, pokud není uvedeno jinak
Ilustrace z archivu autora, pokud není uvedeno jinak
Počet stran 96
První vydání, Praha 2016
Vytiskla tiskárna TNM PRINT

© Grada Publishing, a.s., 2016
Cover Design © Martin Sodomka 2016

Názvy produktů, firem apod. použité v knize mohou být ochrannými známkami nebo registrovanými ochrannými známkami příslušných vlastníků.

Tato publikace vychází z disertační práce *Navrhování budov z panelů z vrstveného masivního dřeva* Ing. arch. Marka Pavlase, Ph.D., vypracované na Fakultě architektury ČVUT 2015 pod vedením školitele prof. Ing. Miloslava Pavlíka, CSc.

ISBN 978-80-271-9369-1 (pdf)
ISBN 978-80-271-0055-2 (print)



■ Obsah

Předmluva	6
Úvod	7
1 Dřevo – tradiční materiál moderního stavitelství	8
1.1 Stručný popis technologie CLT	9
1.2 Historie CLT technologie	9
1.3 Dřevostavby a technologie CLT v České republice	11
2 Konstrukce z CLT panelů a jejich charakteristika	13
2.1 Stěnové panely	15
2.2 Stropní a střešní CLT panely	17
2.2.1 Alternativní řešení stropních a střešních CLT panelů	19
2.2.2 Tradiční trámové stropy v kombinaci s CLT nosnými stěnami	22
2.3 Konstrukční spoje CLT panelů	25
2.3.1 Typické spoje	25
2.3.2 Atypické spoje	27
2.4 Estetika staveb zhotovených z CLT panelů	29
2.5 Porovnání s tradiční technologií lehké rámové konstrukce na bázi dřeva	31
2.5.1 Technické aspekty	31
2.5.2 Cenové aspekty	33
3 Uplatnění CLT technologie pro rodinné domy i rozsáhlejší stavby	35
3.1 Využití technologie pro rodinné domy	35
3.2 Použití CLT panelů pro vícepodlažní stavby	36
3.3 Možnosti dispozičního řešení, variabilita prostorového řešení – stěnový panelový systém, kombinace se sloupovým systémem, přesah k ostatním technologiím	38
3.4 Statické vlastnosti CLT technologie	43
3.5 Požární ochrana staveb z CLT panelů	47
3.5.1 Požární vlastnosti CLT panelů	48
3.5.2 Normativní omezení v ČR, porovnání se zahraničím	48
3.6 Kompletace staveb z CLT panelů	51
3.6.1 Vnitřní kompletace – příčky, podlaha, podhled, instalace a infrastruktura	52
3.6.2 Vnější kompletace – obvodový plášť, střešní konstrukce	58
3.7 Příklady vícepodlažních staveb s nosnou konstrukcí z panelů CLT	63
3.8 Specifická řešení – příklady atypických staveb a konstrukčních řešení	70
4 Ekologické aspekty uplatnění CLT technologie	82
4.1 Principy trvale udržitelného rozvoje	82
4.2 Srovnávací studie Passage Frequel – výsledky porovnání dopadů na životní prostředí vícepodlažní budovy – zděná konstrukce a konstrukce CLT	84
5 Závěr	91
Použitá literatura	92
Rejstřík	95
Slovo o autorovi	96

■ Předmluva

Rozsah dřevěného stavění a jeho konstrukční i technologické formy v našich klimatických podmínkách stále neodpovídají evropským a celosvětovým trendům. Příčin tohoto neutěšeného stavu je určitě více, ale jednou z nich jsou jistě i nedostatečné znalosti a zkušenosti architektů a projektantů se zmíněnou materiálovou základnou. Nové možnosti uplatnění dřeva v soudobém stavebnictví jsou jednoznačně spjaty s rozvojem inovativních technologií jeho zpracování, které podporují vývoj soudobých dřevěných konstrukcí. Dřevo je materiálem nabízejícím odpověď na současně diskutovanou problematiku obnovitelnosti zdrojů a energetické náročnosti stavební produkce. Dlouhodobé směřování k nízkooenergetické náročnosti budov související s procesem technologické inovace a uspořádáním sledovaných parametrů v souladu s principy trvalé udržitelnosti může být jedním z nejdůležitějších faktorů.

Novodobým typem konstrukcí na bázi dřeva je technologie panelů z vrstvených masivních lamel. Konstrukci CLT (cross-laminated timber) je možné efektivně využít nejen pro nízkopodlažní rodinnou bytovou výstavbu, ale i pro výstavbu vícepodlažních budov. Tato publikace přináší komplexní ucelený pohled na konstrukční systém CLT panelů s výrazným zaměřením na architektonické hledisko. Jeho aplikace představuje variantu, která v současném spektru výstavby (v odpovídajícím rozsahu) na našem území více či méně absentovala. Informace jsou soustředěny na metodiku systémového navrhování vícepodlažních dřevostaveb. Podmínkou takto pojaté formy je otevřenost stavebního systému, která principiálně umožňuje individuální přístup k architektonickému návrhu. Poukazuje také na potenciál technologie v oblasti nosných konstrukcí, která nabízí řadu konstrukčních kombinací pro využití u staveb rozličných forem, měřítek a funkční náplně.

Zmíněnou knihu lze využít jako pomůcku pro projektanty i studenty architektury a stavitelství při navrhování budov z vrstvených panelů. Vystihuje totiž možnosti aplikace technologie a poukazuje na možný přesah k jiným konstrukčním a materiálovým řešením, která CLT technologii obohacují. Představuje na základě realizovaných projektů po celém světě možnosti efektivního využití technologie u budov o výšce až deseti nadzemních podlaží a také naznačuje perspektivu využití prezentované technologie.

Vydání této pomůcky je přínosem a podnětnou inspirací nejen pro kreativní architektonickou a projekční tvorbu, ale i pro další navazující výzkumnou a vývojovou činnost.

*prof. Ing. Miloslav Pavlík, CSc.
Fakulta architektury, ústav Stavitelství I.
ČVUT v Praze*

■ Úvod

Výraz dřevostavby představuje velice široký pojem. Zahrnuje různorodou skupinu konstrukčních technologií na bázi dřeva od lehkých rámových konstrukcí přes těžké skelety až po masivní konstrukce. Setkáváme se s tradičními podhorskými roubenkami, lehkými typy konstrukcí importovanými ze zámoří i s moderními masivními panely a lepenými dřevěnými prvky. Je ale důležité si uvědomit, že i výše jmenované základní rozdělení je výrazně zjednodušující a technologie se mohou dále prolínat a kombinovat. Jednotlivé typy dřevěných konstrukcí se mohou vzájemně značně lišit – ať už rozdílným přístupem ke zpracování dřeva, způsobem jeho využití či rozdílnými technickými vlastnostmi daného systému.

Tato publikace je věnována zejména novodobému konstrukčnímu systému vrstvených lepených masivních panelů známých pod označením CLT, který zaznamenává v posledních letech výrazný vzestup. Je to technologie, která si za relativně krátkou dobu našla své místo mezi tradičními dřevostavbami nejen rodinných domů.

■ 1 Dřevo – tradiční materiál moderního stavitelství

Dřevo představuje tradiční přírodní materiál, který je ve stavebnictví hojně využíván od počátků lidské civilizace. Příklady uplatnění dřeva jsou známy napříč všemi historickými epochami. Již v období pravěku bylo dřevo využíváno jako základní materiál nosné konstrukce nejstarších primitivních obydlí.

Dnes je jednou z nejstarších dochovaných dřevostaveb chrám Daigodži. Jedná se o pětipatrovou pagodu dosahující výšky 31,45 m z 10. století, nacházející se na japonském ostrově Kjóto. Z evropského prostředí nám jsou známy mnohé příklady vícepodlažních středověkých hrázděných domů. Tyto stavby přečkaly během staletí nepřízeň počasí, mnohé požáry a stále plní svou funkci [1].

Je proto s podivem, proč se dnes jeví jako složité stavět stavby většího rozsahu s dřevěnou nosnou konstrukcí. Jako příklad technické a řemeslné dovednosti při využití dřeva dalších období můžeme uvést například složité tvarované krovy barokních chrámů, jejichž zpracování je fascinující. Bohatost historie tradičních typů dřevěných konstrukcí můžeme objevovat také u skromnějších stavení v podobě lidové architektury u podhorských roubenek v pohraničních oblastech.

Výrazný pokles ve využití dřeva byl zaznamenán až v průběhu 19. století. Souvisel především s nástupem technické revoluce. Široké uplatnění nových materiálů, zejména železobetonu a oceli, zapříčinilo odklon od dřeva jako stavebního materiálu. V České republice bylo navíc upozadění dřeva posíleno především v období čtyřiceti let totality, kdy byly budovy na bázi dřeva využívány výhradně pro stavby malého rozsahu a mnohdy jen k občasnému využití. Výrazně se na tom podílela i legislativní omezení, která příliš neumožňovala využití dřeva pro větší stavby. Až do roku 1996 nebylo možné realizovat budovy na bázi dřeva s výškou nad dvě nadzemní podlaží. Bohatá a dlouhá tradice znalostí v oblasti využívání a zpracování dřeva byla do určité míry přetřhána a v současné době k ní opět hledáme cestu. Dodnes je kvůli těmto souvislostem na dřevo částečně nahlíženo jako na druhořadý materiál s omezenou životností, přestože mnohé historické příklady dokazují pravý opak [2, 3].

V dnešní době zažíváme určitou renesanci dřeva jako stavebního materiálu. Zkušenosti s jeho využitím se k nám dostávají především ze severní Evropy a ze sousedního Rakouska. Tedy ze zemí, kde bylo kontinuální využití dřeva zachováno.

Dřevo je hojně používáno v ryze moderní architektuře nejen jako doplňkový materiál, ale mnohdy jako hlavní element nosné konstrukce a zároveň jako výrazný prvek architektonického konceptu. Bývá využíváno nejen pro stavby rodinných domů, ale také pro budovy občanské vybavenosti, pro budovy větších měřítek a v poslední době také pro vícepodlažní objekty. Nejvyšší realizace budov na bázi dřeva z posledních let dosahují výšky přes deset podlaží. Současné znalosti v oblasti zpracování dřeva poskytují nové možnosti jeho využití. Vedle tradičních konstrukčních typů, které jsou známy mnoho desítek let, se objevují nové možnosti jeho zpracování. Konstrukční systém masivních panelů CLT, kterému se tato kniha

věnuje, představuje jeden z takovýchto novodobých způsobů zpracování dřeva. Při využití nejmodernější techniky přenáší původní řemeslné zpracování dřeva na velice sofistikovaný způsob produkce exaktně přesných stavebních výrobků.

Výrazným aspektem, který umožňuje kontinuální nárůst podílu dřevěných konstrukcí mezi ostatními materiály, je také hledisko trvale udržitelného rozvoje a ochrany životního prostředí. Díky kombinaci nejnovějších poznatků v oblasti výstavby budov na bázi dřeva a podpory trvale udržitelného stavebnictví se dřevo právem stává tradičním materiálem pro třetí tisíciletí.

■ 1.1 Stručný popis technologie CLT

Konstrukční systém CLT patří do skupiny masivních dřevostaveb. Jako masivní dřevostavby jsou označovány budovy, jejichž stěny jsou v plné ploše tvořeny dřevěným materiálem. Nosná část není redukována do jednotlivých podpor. Typickými zástupci této skupiny jsou především tradiční roubené stavby a sruby.

CLT panely oproti těmto tradičním konstrukcím představují zcela novou technologii, která si získává v rámci široké skupiny konstrukčních typů na bázi dřeva svébytné postavení. Ukazuje novou cestu ve zpracování dřeva pro stavebnictví.

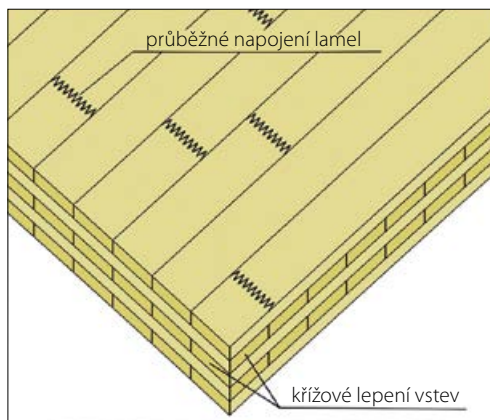
Označení CLT je zkratkou výrazu cross-laminated timber, který poměrně přesně vystihuje tuto technologii. Můžeme se setkat také s označením X-LAM, které ale není ustáleno v takové míře jako CLT. Českým ekvivalentem původního anglického názvu je konstrukční systém dřevěných panelů z masivních vrstvených lamel. Základem technologie je dřevěný panel složený z určitého množství vzájemně kolmých vrstev. Každá jednotlivá vrstva je dále složena z masivních lamel. Vrstvy jsou slisovány a vzájemně za studena slepeny. Vzniká tak křížem lepená deska, kterou lze dle požadovaných vlastností použít pro nosnou konstrukci stěn, stropu a střechy. Kolmé směrování lamel sousedících vrstev zajišťuje vysokou tvarovou stálost elementů. Počet vrstev v panelu je minimálně tři, maximálně zpravidla sedm. Tloušťka panelů se běžně pohybuje od 60 do 240 mm. Technologie představuje ucelený konstrukční systém vhodný nejen pro stavby rodinných domů, ale také pro vícepodlažní budovy [3, 4].

Ačkoli se jedná o panelový konstrukční systém, projektanti ani stavebníci nejsou omezovali typovostí vyráběných elementů. Každý prvek je vyráběn na míru dle individuálních projektů. Technologie není vázána nutností dodržovat modulové rozměry. Panely nejsou vyráběny v typových řadách a sériích, které by omezovaly možnosti návrhu. Rozměrová omezení vycházejí především z možností výrobních linek a z dopravních limitů. Maximální výška panelů bývá zpravidla 3 m, maximální délka se pohybuje dle jednotlivých výrobců od 16 do 18 m. V rámci limitů maximálních rozměrů určených výrobcem jsou možnosti v provedení výřezů a celkového tvaru panelů velice široké [4].

■ 1.2 Historie CLT technologie

Technologie vrstvených panelů z masivního dřeva vznikala v Rakousku v polovině devadesátých let 20. století. Jejich vývoj byl umožněn díky úzké spolupráci vědeckých pracovišť

10 Dřevostavby z vrstvených masivních panelů



Obrázek 1 Ukázka skladby vrstvených dřevěných masivních panelů



Obrázek 2 Fotografie vrstvených dřevěných masivních panelů

a významných dřevozpracovatelských podniků. Veliký podíl na vývoji technologie má zejména Institut dřevěných konstrukcí TU ve Štýrském Hradci. První výrobce CLT panelů, rakouská společnost KLH Massivholz GmbH, byla založena v roce 1999. Tato společnost si stále zachovává přední místo mezi výrobci masivních dřevěných panelů. Název společnosti KLH bývá někdy používán také pro obecné označení technologie místo ustálené zkratky CLT. Rakousko si dodnes uchovává přední pozici v kontinuálním rozvoji technologie [4–6].

V prvních letech byl nástup nové technologie jen pozvolný. K širšímu uplatnění vrstvených panelů došlo až po roce 2000. Technologie se poměrně rychle rozšířila z Rakouska i do okolních zemí a v dnešní době již existuje celá řada významných výrobců CLT panelů. Většinou se jedná o velké podniky, které dodávají konstrukční panely do různých evropských zemí. V blízké době lze očekávat výrazný nárůst využití technologie v Severní Americe, především v Kanadě a ve Spojených státech amerických.

Vzhledem k rostoucí konkurenci jsou jednotliví výrobci nuceni zabývat se kontinuálním vývojem, což přispívá k neustálému vylepšování a optimalizaci technologie. Jedním z aktuálních témat, kterým se přední výrobci v současnosti zabývají, je například využití alternativních dřevin. Doposud je pro CLT panely používáno zejména smrkové dřevo. Snahy o využití dalších dřevin jsou vedeny především podporou diverzifikace skladby lesů, a tím i podporou zásad trvale udržitelného rozvoje.

Významnou oblastí uplatnění CLT panelů jsou od začátku výroby rodinné domy. Postupem času se ale ukazuje vhodnost aplikace technologie i pro stavby větších rozměrů. Z tohoto pohledu představuje pilotní projekt již zmíněná budova Murray Grove Tower v Londýně – devítipodlažní bytový dům dokončený v roce 2008. Nosná konstrukce stavby je provedena z masivních dřevěných panelů. Jde o první užití této technologie pro vícepodlažní budovu.

V blízkosti Murray Grove Tower byl v roce 2010 dokončen projekt Bridport House. Jedná se o soubor vícepodlažních bytových staveb obdobné výšky jako Murray Grove Tower. V současné době jsou dokončovány projekty, které přesahují i tuto výšku. I přes tyto příklady zůstává těžiště uplatnění masivních dřevěných panelů u rodinných domů. Postupem času ale stavby

větších měřítek získávají výraznější podíl na celkové produkci CLT technologie. Nedávné změny v kanadské legislativě umožnily při použití samozhášecí sprinklerové technologie stavbu budov na bázi dřeva až do výše šesti podlaží. Právě díky této změně je v Kanadě, v zemi s bohatou tradicí dřevostaveb, předpokládán značný nárůst v uplatnění technologie CLT [5, 7].

■ 1.3 Dřevostavby a technologie CLT v České republice

Od devadesátých let 20. století zaznamenává segment dřevostaveb kontinuální nárůst zájmu. V roce 1998 představoval podíl rodinných domů na bázi dřeva pouhých 1,51 %, což znamenalo jen 126 realizovaných domů. Oproti tomu v roce 2012 byl již podíl rodinných domů s dřevěnou konstrukcí téměř 10%, celkem tedy 1 733 realizované domy. Obdobný podíl staveb s nosnou konstrukcí na bázi dřeva byl zaznamenán také v roce 2015. Zvyšující se zájem o dřevostavby byl zaznamenán dokonce i v období ekonomické krize. Po dlouhé době upozaďování budov na bázi dřeva v průběhu 20. století se tak Česká republika vrací k využívání dřeva ve stavebnictví. Podíl dřevostaveb se u nás v současné době blíží některým sousedním zemím.

Podporou rozvoje dřevostaveb se zabývá řada institucí, veletrhy dřevostaveb mívají tradičně vysokou návštěvnickou účast. Významným faktorem rostoucího zájmu o dřevostavby je

Obrázek 3 Vizualizace interiéru rodinného domu se stěnami z panelů z vrstveného masivního dřeva, M. Pavlas, MP-Archi



12 Dřevostavby z vrstvených masivních panelů

také nárůst počtu realizovaných pasivních domů, které jsou velice často prováděny právě jako dřevostavby [8].

Po určitou dobu byla většina dřevostaveb prováděna jako lehká rámová konstrukce, případně jako těžký dřevěný skelet. CLT technologie se u nás prosazuje zhruba od začátku 21. století. Od té doby došlo z hlediska jejího využití k výraznému pokroku. Stále představuje progresivní novodobý konstrukční typ. Během posledních patnácti let se ale již stala právoplatnou alternativou lehkým rámovým a skeletovým dřevostavbám. Etablovala se také řada společností, které se specializují výhradně na výstavbu z masivních dřevěných panelů, a technologii lehké rámové konstrukce postupně opustily.

Výhodou uplatnění CLT technologie v podmínkách České republiky je blízkost předních výrobců a jejich kvalitní zastoupení včetně technické podpory. Hlavní výrobce CLT technologie, který stál u jejího vývoje, společnost KLH GmbH, sídlí v Rakousku. Výrazný podíl na rozvoji dřevostaveb na našem území má také česká společnost Agrop Nova, a. s., se svým systémem Novatop, velice blízkým CLT technologii.

Naprostá většina projektů realizovaných z CLT panelů u nás jsou rodinné domy. Na rozdíl od rostoucího počtu realizovaných dřevostaveb rodinných domů se počet bytových domů drží pouze v rámci jednotek za rok. Velký potenciál pro rozvoj technologie se nachází u budov větších rozměrů a budov občanské vybavenosti, například u budov škol, školek, menších bytových domů a podobně. Jistý předsudek pro využití dřevěné konstrukce pro budovy větších rozměrů u nás stále přetrvává. Právě v této oblasti se skrývá určitý potenciál CLT technologie.

■ 2 Konstrukce z CLT panelů a jejich charakteristika

CLT panely představují ucelený konstrukční systém masivních dřevostaveb, vhodný pro budovy rozličných měřítek a účelů. Systém umožňuje vytvořit masivní, staticky vysoce odolnou celodřevěnou konstrukci. Základní princip výstavby – sestavení konstrukce – spočívá v prostém kladení masivních panelů ve svislém, vodorovném či šikmém směru. Interiérová strana nosných panelů přitom může být ponechána bez opláštění. Díky tomu můžeme docílit zřetelně čitelné konstrukce, a zároveň tak zdůraznit pohledovou kvalitu dřevěných panelů s výrazným estetickým účinkem. Takto vytvořená konstrukce umožňuje zachování jednoduchosti architektonického konceptu od původní skici až po realizaci.

Pro volnost architektonického návrhu je zásadní, že je možné každý projekt realizovat zcela individuálně. Panely nejsou vyráběny sériově. Projektanti tak nejsou svázáni nutností uplatňovat typové výrobky či povinností dodržovat výrobní modulové rozměry. Při zachování technologických zásad a základních limitů, daných především možnostmi výrobní linky a dopravou, je možné konstrukci vytvářet s velkou volností.

Negativní důsledky širokého uplatnění prefabrikovaného panelového systému nám jsou z historie důvěrně známy. Panelová sídliště poznamenala podobu téměř všech měst České republiky. U panelů z vrstveného masivního dřeva se nemusíme podobných negativních jevů obávat. Jednak se nejedná o konstrukci, u níž by se dala předpokládat nepřiměřeně vysoká míra uplatnění technologie nad ostatními materiálovými a konstrukčními variantami. Zároveň projektanty ani investory nespazuje nutnost respektovat tvarová a rozměrová omezení, která by byla vytvářena dodavatelem technologie.

Masivní dřevěné panely se v určitých aspektech mohou lišit dle jednotlivých výrobců. Různí se především v tloušťce vrstev, jejich skladbě a v rozměrových limitech dodávaných výrobků. V typické skladbě panelu se zpravidla uplatňuje lichý počet vrstev (tři, pět, maximálně sedm vrstev). Tloušťka lamel, které tvoří jednotlivé vrstvy, se zpravidla pohybuje v rozmezí od 10 do 50 mm. Panely jsou vyráběny především ze smrkového dřeva. Částečně bývají využity modřín, jedle a borovice. Výroba probíhá za pomoci automatizovaného CNC zařízení, které pracuje podle zadaných CAD dat. Celý výrobní proces je digitálně kontrolován. Jde o velice sofistikovaný způsob výroby s rozměrovou tolerancí velkoformátových panelů ± 2 mm při maximálním rozměru 3×18 m [4].

Lepení panelů probíhá za studena pod vysokým tlakem a lze ho provádět dvěma způsoby. První způsob představuje lepení pouze mezi jednotlivými sousedícími vrstvami. Lamely vzájemně mezi sebou v rámci jedné vrstvy pak již lepeny nejsou. U takto vyráběných třívrstevých panelů nižší tloušťky může docházet k jejich nedostatečné vzduchové neprůvzdušnosti

Obrázek 4 Příklad z realizace budovy z CLT panelů



při použití pro budovy v nízkoenergetickém a pasivním standardu. U vícevrstevných panelů a třívrstevných panelů s tloušťkou nad 90 mm je toto riziko výrazně nižší.

Druhý způsob výroby představuje lepení jak jednotlivých sousedících vrstev, tak vzájemné lepení lamel na kratší hraně. Takto vyrobené prvky mohou zajišťovat dostatečnou vzduchovou neprůvzdušnost i pro všechny typy třívrstevných panelů.

Při výrobě jsou využívána především polyuretanová lepidla s garancí zdravotní nezávadnosti. Výrobci zajišťují netoxičnost lepidel bez uvolňování formaldehydu a celkovou šetrnost produktů k životnímu prostředí, což dokládají získanými mezinárodně uznávanými certifikáty – například Natureplus¹ a dalšími. Složení lepidel a způsob výroby se u jednotlivých výrobců liší. Zdravotní nezávadnost a šetrnost výrobku k životnímu prostředí je proto potřeba hodnotit jednotlivě u každého dodavatele.

CLT panely jsou primárně využívány pro difuzně otevřenou konstrukci. Při vhodně zvolené skladbě obvodových konstrukcí nedochází ke vzniku rizika kondenzace vodních par, a odpadá tak nebezpečí nevhodného provedení fóliové parozábrany, nejrizikovějšího místa difuzně uzavřených dřevostaveb.

Mnohdy bývá využito možnosti ponechat nosnou konstrukci bez opláštění jako součásti architektonického záměru. Výrobci proto dodávají panely v různých pohledových kvalitách. Základní typy konstrukčních panelů jsou určeny pro skladby, ve kterých budou panely opatřeny interiérovým opláštěním či obkladem. Povrch těchto panelů může obsahovat optické vady, které by se mohly v interiéru projevit negativně. Jedná se především o vypadavé suky, zamodráná, trhliny a viditelné spáry. Povrch konstrukčních panelů bývá pouze hoblován. Tyto optické nedostatky nijak neovlivňují technické vlastnosti panelů, jedná se výhradně o estetické hledisko. Panely s vyšší pohledovou kvalitou jsou vyráběny z výběrového dřeva, povrch je broušený, beze spár a zbytků lepidla. Tyto typy panelů jsou určeny pro skladby s přiznanou nosnou dřevěnou konstrukcí v interiéru [9].

Velkou devizou masivních CLT panelů je jejich schopnost odolávat působení požáru. Již při tloušťce okolo 80 mm dosahují panely požární odolnosti REI30. Při vyšších tloušťkách je konstrukce schopna dosáhnout požární odolnosti REI60 i REI90. Konkrétní hodnoty se mohou lišit dle jednotlivých výrobců. Uvedených hodnot dosahují panely bez nutnosti použití požárních obkladů. I při zvýšených nárocích na požární odolnost konstrukce tak může být v interiéru přiznána pohledová kvalita nosné konstrukce. Pro další zvýšení požární odolnosti konstrukce lze využít protipožární obkladové desky. Hlavním omezením limitujícím použití CLT panelů je zejména omezení maximální výšky konstrukce na bázi dřeva, vycházející z normativních požadavků požární ochrany [10, 11].

Výrazný bod z hlediska posuzování CLT konstrukce představuje akustika. Masivní dřevěná konstrukce se vyznačuje lepšími hodnotami akustického útlumu než tradiční lehké rámové

¹ Mezinárodní značka kvality pro stavební a zařizovací výrobky všech stupňů stavebního procesu. Týká se zdravotní nezávadnosti, ekologické výroby, ochrany omezených zdrojů a vhodnosti použití.

systemy budov na bázi dřeva, samy o sobě ale obvykle panely požadavkům z hlediska akustických vlastností nevyhoví. Zejména u stropní konstrukce a mezibytových příček je nutno využít doplňkové zvukové izolace a dalších řešení směřujících ke zvýšení akustického útlumu konstrukce.

Výstavba budov z masivních CLT panelů probíhá vždy s použitím zdvihací techniky. Panely jsou vyráběny ve velkých formátech s maximálními rozměry 3×16 – 18 m. Limity rozměrů jsou dány především možnostmi dopravy a výrobním CNC zařízením. S velkými rozměry jednotlivých elementů souvisí i jejich vysoká hmotnost. Během výstavby je proto nezbytné použití jeřábu.

Díky snadné montáži a použití velkoformátových elementů je zajištěna jedna z hlavních výhod CLT konstrukce, kterou je vysoká rychlost jejího sestavení. Výstavbu lze provádět i během zimních měsíců. Nosnou konstrukci velikosti odpovídající rodinnému domu lze na předem vytvořeném základě zhotovit během několika dní. Jako příklad rychlosti sestavení vícepodlažní stavby lze uvést budovu Murray Grove Tower, jejíž osmipodlažní CLT konstrukce byla realizována během osmi týdnů.

Efektivita vysoké rychlosti výstavby se projeví především u staveb většího měřítka. Právě vysoká rychlost výstavby bývá u některých projektů, zejména pak u vícepodlažních budov, jedním z hlavních důvodů pro volbu CLT konstrukce [5].

Použití panelů pro jednotlivé části nosné konstrukce se vyznačuje určitými specifiky. Stěnové panely jsou charakteristické nízkou tloušťkou, stropní panely lze efektivně používat při rozponech do šesti až sedmi metrů. Při větších rozponech se již výrazně zvyšuje jejich tloušťka. S tím souvisí také vyšší cena konstrukce. Z důvodu úspory materiálu byly vyvinuty alternativní typy panelů vhodné pro použití u stropů a střech. Bližší charakteristice specifik stěnových, stropních a střešních panelů jsou věnovány následující kapitoly.

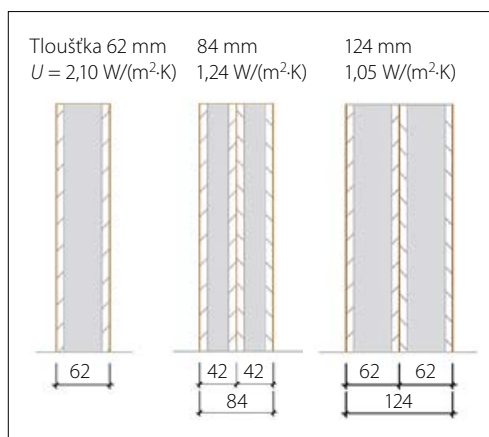
■ 2.1 Stěnové panely

Stěnové panely jsou charakteristické nízkou tloušťkou. Jsou schopny plnit nosnou funkci již při tloušťce okolo 60 mm. V závislosti na zvyšování zatížení se zvyšuje i tloušťka panelu. Maximální tloušťka stěnových elementů se pohybuje okolo 160 mm. Při větší hodnotě by se již projevovaly příliš vysoká hmotnost stěn a značná spotřeba materiálu. Nosné stěny z masivních panelů jsou schopny při relativně nízké tloušťce přenášet zatížení i vícepodlažních budov, což dokazují nedávné realizace vícepodlažních budov s nosnou CLT konstrukcí.

Zatížení je přenášeno především svisle orientovanými vrstvami. Kolmé horizontální vrstvy zajišťují prostorovou tuhost panelu a jeho tvarovou stálost. Lamely povrchových vrstev stěnových panelů mají vždy svislou orientaci. Skladba panelu se může dle jednotlivých výrobců výrazně lišit. Nejběžněji se uplatňují panely, jejichž jednotlivé vrstvy mají shodnou nebo podobnou tloušťku. Odlišná tloušťka vrstev však není zcela výjimečná. Zároveň se může uplatnit i sudý počet vrstev, jak je vidět na obrázku 5. V tomto případě se jedná o určitou modifikaci CLT technologie. Skladba panelů závisí na výrobní technologii používané konkrétním výrobcem.

Tabulka 1 Průřezové hodnoty stěnových panelů při různých tloušťkách stěny [10]

Tloušťka	62 mm	84 mm	124 mm
Plocha průřezu	60 000 mm ²	84 000 mm ²	124 000 mm ²
Moment setrvačnosti I (podélně)	1,3·10 ⁷ mm ⁴	2,66·10 ⁷ mm ⁴	6,283·10 ⁷ mm ⁴
Podélný modul průřezu W	4,18·10 ⁵ mm ³	6,32·10 ⁵ mm ³	1,01·10 ⁶ mm ³
Moment setrvačnosti I (příčně)	7,45·10 ⁶ mm ⁴	2,42·10 ⁷ mm ⁴	1,00·10 ⁸ mm ⁴
Příčný modul průřezu W	2,40·10 ⁵ mm ³	5,76·10 ⁵ mm ³	1,62·10 ⁶ mm ³
Součinitel prostupu tepla U	1,55 W/(m ² ·K)	1,24 W/(m ² ·K)	0,89 W/(m ² ·K)
Fázový posun ψ	2,7 h	4,2 h	7,1 h



Obrázek 5 Průřezové hodnoty stěnových panelů při různých tloušťkách stěny [10]

trojsklo. Požadavky na vnější plášť budovy tyto hodnoty ale nespňují. Vzhledem k možnosti dosažení nízké tloušťky nosné konstrukce se nabízí porovnání hodnot s železobetonovou konstrukcí. V tomto případě jsou parametry CLT panelů výrazně příznivější.

Z hlediska tepelnětechnických vlastností konstrukce se pozitivně projevuje také vyšší hmotnost masivních panelů. Ta se výrazně uplatňuje na zvýšení fázového posunu konstrukce, tedy na lepší akumulaci tepla (viz tabulku 1), a díky tomu se podílí na lepším udržení tepelné pohody v interiéru zejména v letních měsících.

Tabulka 2 Porovnání hodnot součinitele prostupu tepla U

Typ konstrukce	Součinitel prostupu tepla U [W/(m ² ·K)]
CLT panel tl. 84 mm	1,24
Železobeton tl. 84 mm	18,9
Izolační dvojsklo	2–1,4
Izolační trojsklo	1,8–0,7

Dřevo je schopno částečně plnit tepelněizolační funkci. Ani při tloušťce do 160 mm ale masivní dřevěná stěna bez dalších tepelněizolačních vrstev požadovaným hodnotám součinitele prostupu tepla pro obvodové konstrukce nevyhoví. Stěny jsou proto vždy doplněny vrstvou tepelné izolace. Další vrstvy skladby obvodové stěny zároveň zajišťují ochranu dřevěné konstrukce před povětrnostními vlivy.

Tabulka 2 zobrazuje porovnání hodnot součinitele prostupu tepla s železobetonovou konstrukcí ekvivalentní tloušťky a dále s izolačním dvoj- a trojsklem. Z tabulky je patrné, že stěnový panel dosahuje obdobných hodnot součinitele prostupu tepla jako izolační dvoj- či

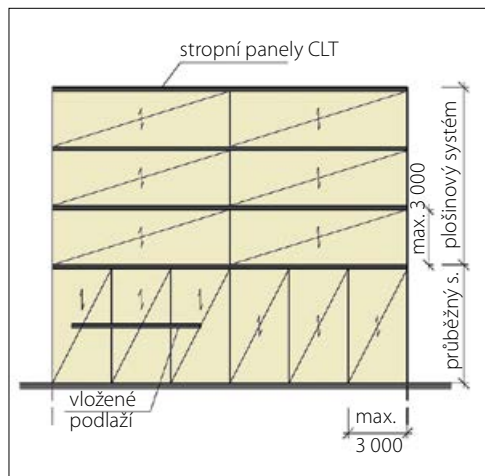
Díky nízké tloušťce nosné části souvrství vnější stěny je možné docílit nízké tloušťky celé skladby. Při splnění základních požadovaných hodnot součinitele prostupu tepla obvodových stěn dle ČSN 73 0540-2² lze dosáhnout celkové tloušťky skladby okolo 280 mm. Nízká tloušťka nosné konstrukce se pozitivně projeví také u budov navržených v nízkoenergetickém a pasivním standardu. Díky tomu lze efektivně snížit poměr mezi zastavěnou a užitnou plochou budovy.

Stěnové panely jsou zpravidla osazovány podélně, tedy kratším rozměrem na výšku. Tento způsob orientace lze vzhledem k rozměrovým limitům panelů využít při světlé výšce podlaží do tří metrů. Ve velké většině případů je tento rozměr dostačující. Pokud je výška podlaží větší, je nutné stěnové elementy osadit na výšku. Panely pak mohou být průběžné přes několik podlaží. Toto řešení bývá užito zejména pro schodišťová či výtahová jádra vícepodlažních staveb. V obou případech způsobu kladení – svislém i vodorovném – mají krajní vrstvy vždy svislou orientaci lamel.

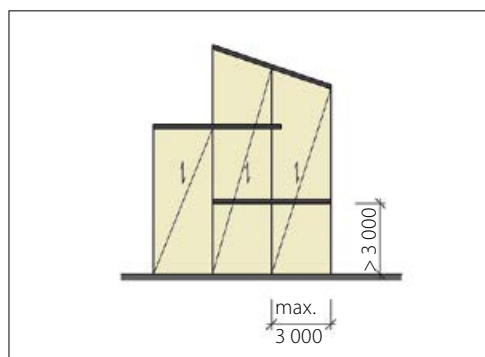
■ 2.2 Stropní a střešní CLT panely

Stropní panely mají obdobnou skladbu jako stěnové elementy. Zpravidla se ale vyznačují vyšší tloušťkou, případně větším počtem vrstev. Zatížení je přenášeno především vrstvami s lamelami ve směru rovnoběžném s rozpětím. Z tohoto důvodu jsou obdobně jako u stěnových panelů krajní vrstvy, tedy ty, které jsou nejvíce namáhány, rovnoběžné s hlavním směrem zatížení. Kolmé vrstvy, shodně se stěnovými elementy, zajišťují především tuhost prvku a jeho tvarovou stálost. Zároveň na kolmé vrstvy působí valivý smyk, což zvyšuje celkovou únosnost stropního elementu.

Stejně jako pro provedení stropu lze CLT panely uplatnit pro konstrukci šikmých i plochých střech. Stropní elementy lze při běžném zatížení použít pro rozpon okolo šesti až sedmi metrů. Při větších rozponech již není použití panelů efektivní. Při vysoké tloušťce elementu dochází k přílišnému zvyšování hmotnosti stropní konstrukce, a tím výrazně narůstá stálé zatížení.



Obrázek 6 Schéma kombinace stěnového systému typických podlaží a sloupového systému v přízemí



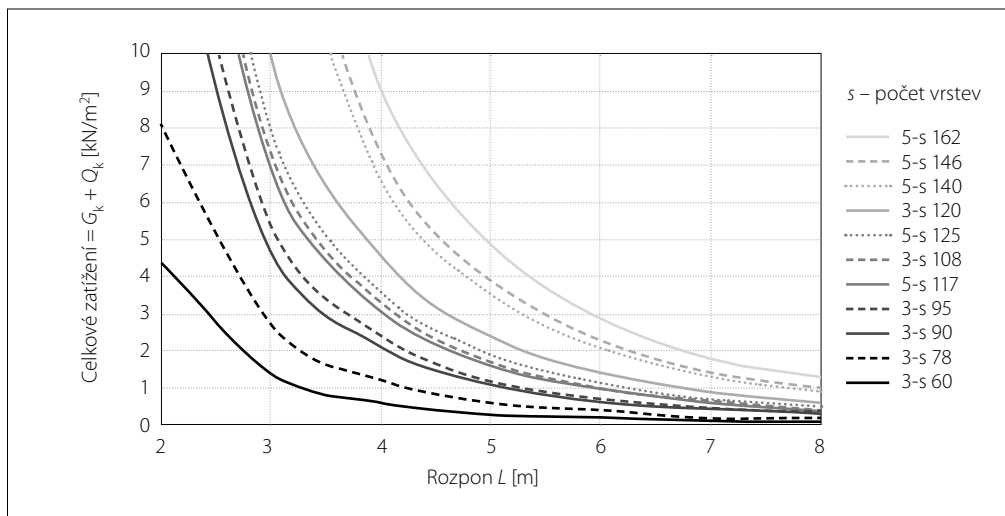
Obrázek 7 Schéma řešení podlaží se světlou výškou nad 3 m, možnost provedení vloženého podlaží

² ČSN 73 0540-2 – Tepelná ochrana budov – Část 2: Požadavky.

18 Dřevostavby z vrstvených masivních panelů

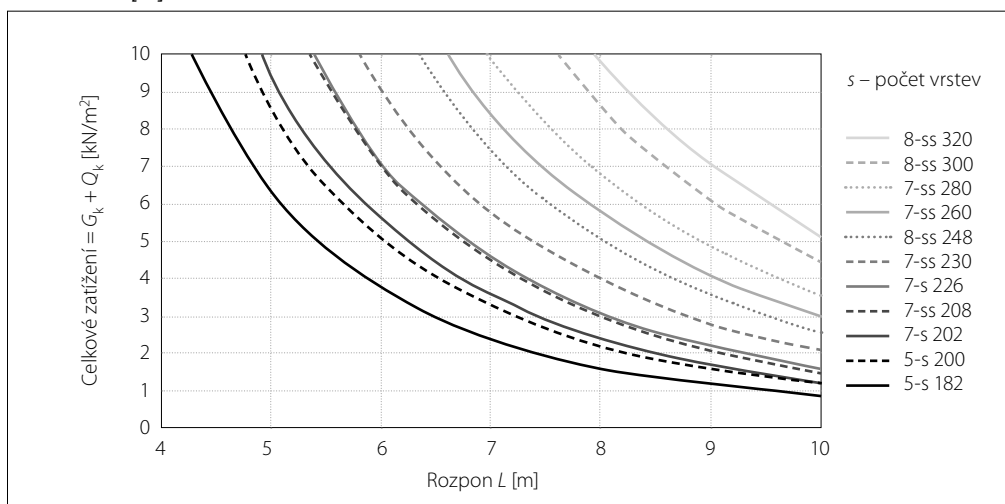
Při zvýšené tloušťce stropních panelů zároveň dochází k nadměrné spotřebě dřeva a nárůstu celkových nákladů na výstavbu. Orientační výpočet tloušťky stropní konstrukce v závislosti na rozponu a celkovém zatížení je zobrazen na grafech 1 a 2.

Při vyšších rozponech lze dřevěnou konstrukci vhodně kombinovat s dalšími materiály, především s ocelí. Kombinaci materiálů nosné stropní konstrukce lze pohledově přiznat a využít ji v rámci architektonického záměru. Stejně tak lze podpůrnou konstrukci částečně, nebo plně skryt v rámci celkové skladby stropu dle možností a požadavků architektonického a konstrukčního řešení.



Graf 1 Orientační výpočet tloušťky stropního CLT panelu – prostý nosník v závislosti na rozponu a celkovém zatížení [12]

Graf 2 Orientační výpočet tloušťky stropního CLT panelu – prostý nosník v závislosti na rozponu a celkovém zatížení [12]



Stropní konstrukce může být stejně jako stěny ponechána bez opláštění. Při použití stropních panelů bez opláštění vynikne přírodní struktura panelů. Zavěšeného podhledu lze oproti tomu vhodně využít pro provedení rozvodů technické infrastruktury a instalace doplňkových vrstev – akustické izolace, požárního obkladu aj.

Vzhledem k tomu, že je CLT panelovou konstrukcí, je nutné již v rámci tvorby architektonického konceptu alespoň rámcově uvažovat o možnostech a způsobu provedení skladby stropních elementů, které mohou mít na návrh výrazný vliv. Ve směru rovnoběžném s rozpětím lze využít maximální délky panelů až 16–18 m, kdy mohou stropní elementy překonávat délku více polí, a lze tak vytvořit spojitý nosník. V opačném směru je nutné uvažovat s délkovým rozměrem maximálně 3 m. Při ponechání panelů bez opláštění je nutné počítat s tím, že se napojení stropních elementů projeví v podobě viditelné spáry. Spáru lze provést jako minimální, nebo přiznanou s konstantní šířkou v řádu několika milimetrů.

Důležitým aspektem návrhu a provedení skladby stropní konstrukce je akustický útlum. Přenos především kročejového hluku totiž bývá choulostivým bodem budov na bázi dřeva. Dostatečného útlumu konstrukce lze docílit především uložením stropu na stěnové panely na pružné těsnící pásce a zároveň vhodnou volbou skladby podlahy. Samotný stropní panel požadavkům akustického útlumu nevyhoví.

■ 2.2.1 Alternativní řešení stropních a střešních CLT panelů

Vzhledem k narůstající tloušťce stropních panelů při větších rozponech a nutnosti použití pěti- až sedmivrstvých elementů se nabízí v rámci aplikace konstrukce masivních vrstvených panelů kombinace s alternativními řešeními.

Zajímavé řešení úspory materiálu, a tím i celkových nákladů na výstavbu, nabízejí vícevrstvé systémové panely se středním nosným roštem, určené pro použití pro stropní a střešní konstrukci. Spodní část tohoto typu panelu tvoří vrstvená deska z masivního dřeva. Její tloušťka může být modifikována dle požadavků na požární odolnost konstrukce. Na spodní desce jsou nalepena žebra v podélném a příčném směru. Dutiny mezi žebry mohou být vyplněny akustickou či tepelnou izolací. V této střední vrstvě může být také provedena příprava tras pro provedení instalací. Celek je následně uzavřen horní krycí vrstvenou deskou z masivního dřeva. Spojení jednotlivých prvků se provádí lepením a následným lisováním za studena. Pohledová kvalita je shodná s panely CLT. Stejně jako stěnové panely jsou tyto stropní elementy vyráběny jako prefabrikáty, které jsou na staveniště dopraveny jako prvky připravené pro osazení na stavbě bez dodatečných úprav [13].

Panely vynikají vysokou statickou únosností při nízké hmotnosti a zajišťují vysokou prostorovou tuhost stavby. S nízkou hmotností elementu souvisí zvýšené riziko přenosu hluku. To lze výrazně snížit vloženou akustickou izolací ve volných dutinách uvnitř panelu, skladbou podlahy a případně akustickou izolací v zavěšeném podhledu, je-li podhled použit.

Graf 3 zobrazuje orientační výpočet tloušťky stropního panelu v závislosti na rozponu a celkovém zatížení. Z grafu je patrné, že stejně jako při použití tradičních CLT panelů lze při aplikaci vícevrstvých systémových panelů se středním nosným roštem dosáhnout při běžném zatížení