

Tragsysteme für Hochhäuser

Systèmes porteurs pour tours

Sistemi portanti per grattacieli



1 Das 75 m hohe Holzhochhaus H1 im neuen Quartier mit dem sperrigen Namen Zwhatt in Regensdorf ZH von Boltshauser Architekten für die Anlagestiftung Pensimo ist in der Planung weit fortgeschritten. Das statische Konzept von Josef Kolb, Romanshorn, und Schnetzer Puskas Ingenieure, Basel, sieht den Erschliessungskern und das Sockelgeschoss als Massivbau vor, alle anderen Geschosse sind als Holzbau in Planung.

Les études pour la tour en bois de 75 m à Zwhatt, Regensdorf ZH de Boltshauser Architekten pour la Fondation de placement Pensimo sont très avancées. Le concept statique proposé par Josef Kolb, Romanshorn, et Schnetzer Puskas Ingenieure, Bâle prévoit un noyau de circulations et un socle en dur, et tous les étages seront réalisés en bois.

Il grattacielo in legno H1 a Zwhatt, Regensdorf ZH, alto 75 m, di Boltshauser Architekten per la Fondazione d'investimento Pensimo è in fase avanzata di progettazione. Il concetto statico di Josef Kolb, Romanshorn e Schnetzer Puskas Ingenieure, Basilea prevede il nucleo dell'edificio e lo zoccolo del piano terra in costruzione massiccia, tutti gli altri piani in legno.

Für die erfolgreiche Projektierung eines hohen Holzgebäudes gilt es bei der Tragwerkskonzeption spezifische Themenfelder zu beachten. Dem modernen Ingenieurholzbau kommt dabei eine Schlüsselstellung zu.

Ein wirtschaftliches Tragsystem für ein Hochhaus aus Holz entsteht in interdisziplinärer Zusammenarbeit zwischen Bauherr, Architekt und Ingenieur – meist schon beim Wettbewerb. Gemeinsam wird das zu planende, zu konstruierende und zu berechnende Holz- oder Holzhybridhochhaus entworfen. Möglichst von Anfang an sind weitere Spezialisten wie Haustechniker, Bauphysiker und Kostenplaner beizuziehen. Erfahrungsgemäss bestimmt der Entwurf die Machbarkeit und Wirtschaftlichkeit des Baus, denn in den weiteren Planungsphasen sind die Parameter nur noch marginal beeinflussbar. Für ein erfolgreiches Projekt gilt es bei der Tragwerkskonzeption einige Themenfelder zu beachten, die gegenüber den bisherigen Gebäudetypologien im Holzbau an Bedeutung gewinnen.

Lastabtragung und Decken

Für den vertikalen Lastabtrag sind übereinander liegende, tragende Elemente unabdingbar, um Versätze zu vermeiden. Die Abfangung geschossweise versetzter Tragelemente bedeutet materialunabhängig grössere Konstruktionsstärken und damit höhere Kosten. Sind unregelmässige, vertikale Tragsysteme erwünscht, weil es zum Beispiel andere Nutzungen im Erdgeschoss gibt, ist meist die Ausführung der Abfanggeschosse in Stahlbeton sinnvoll oder geschoss hohe Wandscheiben oder Abfangfachwerke, die die Lasten umlenken.

Variantenstudien und Vergleichsmatrizen der Autoren sowie realisierte Projekte zeigen, dass reine Holzlösungen bei Geschossdecken weniger bedeutend sind. Dies hängt mit den geltenden Brandschutzvorschriften zusammen, die bei Standardkonzepten mit Löschanlagen sichtbare, linear tragende Holzbauteile im Hochhaus ermöglichen. Flächige, be-

Pour concevoir valablement la structure porteuse d'une tour en bois, il importe d'observer certains points spécifiques, qui confèrent un rôle clé à l'ingénierie civile moderne appliquée à ce matériau.

Un système porteur économique pour une tour en bois présume la coopération entre le maître de l'ouvrage, l'architecte et l'ingénieur – de préférence dès le concours. Le projet de tour à concevoir, doit établir de concert les dimensions du bois ou des matériaux mixtes mis en œuvre. Des spécialistes en installations techniques, physique et économie de la construction doivent si possible aussi y être associés d'emblée. L'expérience montre que le projet détermine la faisabilité et l'économicité de l'ouvrage et que les paramètres ne peuvent être que marginalement influencés dans les phases de planification suivantes. Un projet réussi présuppose que le concept structural intègre certaines réflexions qui gagnent en importance par rapport aux typologies traditionnelles du bâti en bois.

« LES ATOUTS DU BOIS DE FEUILLES SONT À LA FOIS CLIMATIQUES, TECHNIQUES ET CONCEPTUELS. »

Reprise des charges et dalles

Pour la reprise des charges verticales, il faut impérativement éviter tout décalage entre les éléments porteurs superposés. Indépendamment du matériau, le soutènement de porteurs décalés entre les étages implique des épaisseurs renforcées, soit des coûts augmentés. Si, pour une affectation distincte en rez-de-chaussée par exemple, des porteurs verticaux irréguliers sont souhaités, la réalisation en acier de l'étage concerné ou l'intégration de parois à hauteur d'étage ou de contreventements, afin de dévier les charges, est souvent indiquée.

L'étude de variantes, les matrices comparatives des auteurs, ainsi que des projets achevés montrent que des solutions purement en bois ont moins d'importance pour les dalles. Cela tient aux

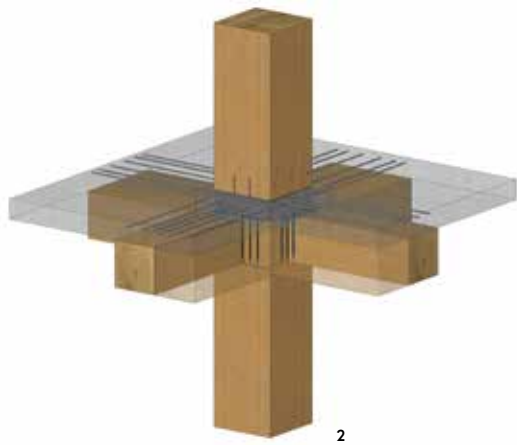
Per la progettazione efficace di un edificio alto in legno, si devono considerare alcuni argomenti specifici. Un ruolo chiave è occupato dalla moderna ingegneria civile applicata a questo materiale.

Un sistema portante economico per un grattacielo in legno nasce dalla collaborazione interdisciplinare tra il committente, l'architetto e l'ingegnere – in genere già durante il concorso. I professionisti potranno progettare, calcolare e realizzare insieme il grattacielo in legno o con soluzioni costruttive ibride. Altri specialisti, ingegneri RVCS, fisici della costruzione e pianificatori dei costi dovrebbero essere consultati fin dall'inizio. L'esperienza dimostra che il progetto determina la fattibilità e la redditività della costruzione e che, nelle successive fasi di progettazione, i parametri possono essere influenzati solo marginalmente. Per il successo di una realizzazione, nel progetto strutturale vanno considerati alcuni temi che nelle costruzioni in legno stanno diventando sempre più importanti in rapporto alle tipologie tradizionali.

Trasmissione dei carichi e solai

Per la ripresa dei carichi verticali vanno evitati i disallineamenti. Indipendentemente dal materiale, la trasmissione dei carichi disallineati, implica maggiori spessori e quindi costi più elevati. Se, ad esempio, al piano terra si prevede una variazione delle strutture portanti è indicata la costruzione in acciaio del solaio, o l'utilizzo di travi pareti o di elementi diagonali in grado di garantire la deviazione dei carichi.

Gli studi delle varianti e le matrici di confronto degli autori, nonché i progetti realizzati, dimostrano che per i solai le soluzioni in solo legno sono meno indicate. Ciò è dovuto alle prescrizioni antincendio vigenti che di norma, con impianti di spegnimento, autorizzano gli elementi lineari quali travi e pilastri per i grattacieli. Al contrario, elementi piani o integrati in un edificio senza sistemi di spegnimento devono essere protetti e rivestiti, ciò comporta soluzioni poco



2

2 Konstruktion Knotenpunkte Anschluss Stütze/Decken.

L'assemblage des nœuds raccord poutre/dalles.

Il nodo costruttivo pilastro/solaio.

3 Das Hochhaus H1 von Boltshouser Architekten, Zürich, umfasst nutzungsneutrale Typologien bis hin zu grosszügigen 5 ½-Zimmer-Wohnungen.

La tour H1 de Boltshouser Architekten, Zurich, déploie des typologies ouvertes incluant de généreux logements de 5 ½ pièces.

Il grattacielo H1 di Boltshouser Architekten di Zurigo presenta tipologie aperte fino a spaziosi appartamenti di 5 ½ locali.



3

stehende Holzbauteile oder solche in baulichen Konzepten ohne Löschanlage sind dagegen als gekapselte Konstruktionen umzusetzen, was durch die Verkleidungsschichten zu unwirtschaftlichen Lösungen führt. Deshalb werden meist Geschossdecken aus Holz-Beton-Verbundsystemen (HBV) mit linearen Rippen oder HBV-Decken mit flächigen Holzelementen gewählt.

Bei Letzteren ist der Tragwerksnachweis für den Brandfall nur mit der Überbetonschicht zu führen. Diese Systeme erfüllen die Anforderungen an Brand- und Schallschutz auch bei geringen Deckenstärken. Zudem zeichnen sie sich durch den hohen Vorfertigungsgrad sowie die kurze Montagezeit aus, und die Überbetonschicht ist als Abdichtung während der Bauphase nutzbar.

Stützen und Stützenraster

Interessant ist es, den Stützenraster auf den Transport der Deckenelemente abzustimmen: die Elementbreite bis 3.5 m, die Länge bis zu 8 m oder mehr. Dadurch lässt sich der Unterzug im Deckenelement integrieren, oder dieses kann als zweiachsig tragendes System ausgebildet werden. Stützen aus Fichte, Tanne, Buche, Esche oder Eiche schaffen Kon-

normes incendie en vigueur qui, pour des concepts standards avec installation d'extinction, autorisent des porteurs bois linéaires dans les tours. Par contre, des éléments plans entièrement en bois ou intégrés dans un bâti sans installation d'extinction doivent être encapsulés de revêtements qui rendent l'option peu économique. C'est pourquoi les dalles sont le plus souvent des systèmes mixtes bois-béton avec des nervures linéaires ou des éléments en bois plans.

Dans ce dernier cas, la sécurité structurale en cas d'incendie ne peut être vérifiée qu'en incluant la chape. Ces systèmes de dalles répondent aux exigences de protection incendie et d'insonorisation même pour de faibles épaisseurs, tout en se distinguant par leur haut degré de pré-usinage, leur rapidité de montage et l'étanchéité qu'offre la chape durant le chantier.

Poteaux et trame d'appuis

Il est intéressant de coordonner la trame d'appuis et le transport des éléments de dalle, pour des largeurs allant jusqu'à 3.5 m et des longueurs jusqu'à 8 m ou plus. Cela permet d'intégrer la sous-poutre à l'élément de dalle ou de développer celui-ci comme système porteur biaxial.

economische. Per questo motivo, in genere, per i solai si prediligono strutture miste in legno-calcestruzzo monodirezionali con travi portanti in legno o bidirezionali con pannelli piani.

In quest'ultimo caso, la sicurezza strutturale in caso di incendio può essere verificata solo con un sovrastro di calcestruzzo. Questi sistemi di solai soddisfano i requisiti di protezione antincendio e di isolamento acustico anche con sottili spessori e sono caratterizzati da un elevato grado di prefabbricazione, da una rapida messa in opera, e dalla protezione data dal sottofondo durante la costruzione.

Pilastrini e trame d'appoggio

È interessante far coincidere la trama d'appoggio al trasporto degli elementi dei solai: per una larghezza fino a 3.5 m e fino a 8 m o più di lunghezza. In questo modo la trave principale può essere integrata nell'elemento del solaio oppure può essere progettata come sistema portante biassiale. I sostegni in abete rosso, abete, faggio, frassino o quercia consentono libertà di progettazione. Le conifere come l'abete e l'abete rosso o il robusto legno di faggio prevarranno sul mercato per motivi di costo, mentre le politiche climatiche

struktions- oder Gestaltungsfreiheit. Fichte, Tanne und Buche werden sich aus Kostengründen auf dem Markt durchsetzen. Herstellungstechnologien bei Laubholz werden aus klimapolitischen Gründen gefördert. Sie sind aber auch ingenieurtechnisch, gestalterisch und nutzungsbedingt vorteilhaft.

Neben angepassten Stützendimensionen lassen sich über die Etagen auch unterschiedliche Holzqualitäten einsetzen. Um die Variation der Dimensionen klein zu halten, werden je nach Gebäudehöhe und Stützenraster in den unteren Geschossen meist hochfeste Stützen eingesetzt. Der Tragwerksingenieur hat eine eindruckliche Auswahl von normalen bis hochfesten Holzprodukten. Nebst der Tragfähigkeit muss das Setzungsverhalten – insbesondere das der differentiellen Setzung zwischen unterschiedlichen Tragelementen wie der Holzkonstruktion und dem Beton – beachtet werden.

Robustheit und Stand heute

Herausfordernd bei Hochhäusern ist, die Robustheit¹ des Tragsystems zu untersuchen und konzeptionelle Massnahmen vorzusehen. Bei Ausfall eines Tragelements, etwa infolge einer Explosion, sollte nicht das ganze Tragsystem versagen. Die europäischen Normen sehen dafür bei der Bemessung von Stahlbetontragwerken die Ausbildung von inneren, äusseren und vertikalen Zugankern vor. Die im Eurocode definierten Ansätze lassen sich sinngemäss auf den Holzbau übertragen.

«LAUBHOLZ IST AUS KLIMAPOLITISCHEN, INGENIEURTECHNISCHEN UND GESTALTERISCHEN GRÜNDEN VORTEILHAFT.»

Forschungsarbeiten und Erfahrungen beim Geschossbau mit seinen erprobten und robusten Holzbausystemen sind eine gute Basis für den Hochhausbau. Weitere Erfahrungen in der Holzbranche und die Integration von Spezialisten mit Erfahrung im Hochhausbau sind wünschenswert. Diese Kombination wird es ermöglichen, erfolgreich Hochhäuser in Holz- oder Holzhybridbauweise zu erstellen. Die bei vielen Bauprojekten übliche Trennung zwischen Architektur und Entwurf und der späte Einbezug von Ingenieur- und Herstellerwissen ist beim Hochhausbau mit Holz Vergangenheit. Heute ist die frühe Zusammenarbeit von Architekten und Ingenieuren im Holzbau und besonders im Holzhochhausbau Praxis.

Anmerkung

¹ Tragwerksnormen SIA: Robustheit ist die Fähigkeit des Tragwerks, Schäden auf ein zur Ursache verhältnismässiges Ausmass zu begrenzen.

Des poteaux en épicea, sapin, hêtre, frêne ou chêne offrent une grande liberté conceptuelle. Les conifères tels l'épicéa et le sapin ou un solide feuillu comme le hêtre occuperont le marché pour des raisons de coût, tandis que les politiques climatiques favorisent les technologies de fabrication en bois de feuillus. Mais leurs atouts sont aussi de nature technique, conceptuelle et fonctionnelle.

Outre le dimensionnement coordonné des porteurs, on peut également modular les qualités de bois selon l'élévation. Pour minimiser la variation de taille des poteaux en fonction de la hauteur de l'ouvrage et de la trame d'appuis, on privilégie le plus souvent des éléments de haute résistance dans les étages inférieurs. L'ingénieur en structures bois dispose d'un très vaste choix de produits. Outre leur résistance, le comportement des poteaux au tassement doit être observé – en particulier le tassement différentiel entre éléments porteurs en bois ou en béton.

Robustesse et pratiques actuelles

Pour les tours, le défi est de vérifier la robustesse¹ du système porteur et de concevoir des contre-mesures préventives. Le défaut d'un élément porteur, à la suite d'une explosion par exemple, ne doit pas entraîner la ruine de la structure. Les normes européennes sur le dimensionnement d'ouvrages en béton armé prévoient ainsi des tirants d'ancrage internes, externes et verticaux. Les approches définies dans l'Eurocode peuvent être transposées à la construction en bois.

Les recherches et les acquis dans la construction par étages, avec des systèmes bois éprouvés et étayés, sont une bonne base pour l'édification de tours en bois. D'autres expériences sur le matériau et l'implication de spécialistes versés dans le bâti en hauteur sont souhaitables. C'est la clé du succès pour la réalisation de tours en bois ou hybrides et, dans cette optique, le décalage ordinaire entre architecture, projet, puis consultation de l'ingénieur et du fabricant n'est plus de mise. Pour construire en bois et notamment réaliser des ouvrages élevés, la coopération au préalable entre architectes et ingénieurs est aujourd'hui la norme.

Note

¹ Normes SIA sur les structures porteuses: La robustesse d'un ouvrage désigne son aptitude à résister à un événement sans présenter de dégâts disproportionnés par rapport à la cause d'origine.

promuovono tecnologie produttive con legni duri. I loro punti di forza sono anche tecnici, concettuali e funzionali.

Oltre al dimensionamento coordinato con le esigenze di trasporto, è possibile diversificare la qualità del legno in funzione dell'altezza. Per ridurre al minimo la variazione delle dimensioni dei pilastri, in funzione dell'altezza dell'edificio e della trama strutturale, nei piani inferiori vengono utilizzati in genere elementi ad alta resistenza. L'ingegnere strutturalista specializzato in costruzioni in legno dispone di un'ampia gamma di prodotti, da quelli normali fino a quelli ad alta resistenza. Oltre alla resistenza dei pilastri, va considerato il comportamento di assetamento – in particolare l'assetamento differenziale tra elementi portanti in legno o in calcestruzzo.

«IL LEGNO DI CONIFERA È VANTAGGIOSO DAL PUNTO DI VISTA CLIMATICO, TECNICO-INGEGNERISTICO E PROGETTUALE.»

Robustezza e stato attuale

Per i grattacieli, la sfida consiste nella verifica della robustezza¹ del sistema strutturale e nel progetto di misure preventive. Nel caso in cui un elemento portante venisse meno alla sua funzione, per esempio a causa di un'esplosione, l'intero sistema strutturale non deve venir compromesso. Le norme europee sul dimensionamento delle strutture portanti in calcestruzzo armato prevedono tiranti interni, esterni e verticali. Gli approcci definiti nell'Eurocodice possono essere trasposti alle costruzioni in legno.

La ricerca e l'esperienza nella costruzione di solai in legno collaudati e robusti costituisce una buona base per la progettazione di grattacieli. Sono auspicabili ulteriori esperienze con il materiale e il coinvolgimento di specialisti che hanno conoscenze specifiche nella costruzione di grattacieli. Questa è la soluzione che consentirà di costruire con successo grattacieli in legno o con soluzioni ibride; in quest'ottica la consueta progressione della progettazione architettonica al successivo confronto con l'ingegnere specialista e costruttore non è più appropriata. Per le costruzioni in legno, e soprattutto per i grattacieli, la tempestiva collaborazione tra architetti e ingegneri è oggi ormai pratica consolidata.

Nota

¹ Norme strutturali SIA: la robustezza è la capacità della struttura portante di limitare i danni in misura proporzionale alla causa.