

Stampflehm für vorgefertigte, tragende Bauelemente – ein Pilotprojekt

Der Vortrag fasst die ersten Ergebnisse und Erfahrungen bei der Entwicklung von vorgefertigten Wandbauelementen aus Holzrahmen mit Gefachen aus Stampflehm zusammen. Die Verwendung von Lehm als Material in modernen Baustrukturen hat besondere Vorteile und Auswirkungen, birgt aber auch Risiken und technische Verwicklungen. Die Verbindung höchst effizienter Technologien auf der einen Seite mit einfachen Techniken und Niedrigkostenbaustoffen auf der anderen gestattet die Nutzung der besonderen Eigenschaften von beiden.

Umweltbezogen sind die Vorteile des Gebrauchs von Lehm als Baustoff die folgenden: (I) Nutzung wiederverwendbarer Rohstoffe; (II) Verwendung von Material mit niedrigem eigenen Energie-, CO₂- und SO₂-Wert; (III) Verwendung von wiederverwendbaren und erneut verwertbaren Baustoffen; (IV) Nutzung eigener Ressourcen.

Vorfertigung ist eines der grundlegenden Prinzipien nachhaltigen Bauens. Sie führt unter gewissen Voraussetzungen: (I) zur Verkürzung der Bauzeit; (II) Verringerung von Baufehlern und (III) Verminderung negativer Einflüsse des Baugeschehens auf die Umwelt.

Technische Nutzen vorgefertigter Lehmbauelemente sind hauptsächlich: (I) Beständige Rohstoffquellen für die Herstellung der Elemente und Mischungen als Bedingung für gleichbleibende Eigenschaften; (II) Höhere Qualität bei gleichzeitiger Abnahme technischer Risiken; (III) Fertigung der Bauteile in „Vorsaisonbauzeiten“; (IV) Überdachte Produktionsmöglichkeiten; (V) Genügend Abbindezeit zur Verhinderung von Schrumpfen und anderen Formveränderungen.

Methodische und konzeptionelle Herangehensweise

Es gibt keine praktischen Erfahrungen im Bauwesen bei der Anwendung moderner vorgeformter oder vorgefertigter Lehmbauelemente unter tschechischen Bedingungen. Bis heute gibt es für die Vorfabrikation in diesem Bereich nur eine ganz kleine Anzahl von Beispielen. Durchgeführte externe Pilotprojekte mit vorgefertigten Lehmbauelementen zeigen jedoch ein großes Entwicklungspotential mit vielen Vorteilen [1, 2, 3].

Das Projektziel war die Prüfung von Möglichkeiten der Vorfertigung von Lehmbauteilen und ihres Verhaltens als hochmo-

derner und effizienter Baustoff. Die vorliegenden Ergebnisse sind Teil der Forschungsaktivitäten von CIDEAS („Centre of Integrated Design of Advanced Structures“) der Fakultät für Bauingenieurwesen der CTU in Prag.

Das Vorhaben konzentrierte sich auf die folgenden wesentlichen Punkte:

- Entwurf der Bauteile basierend auf statischen Analyse in verschiedenen Fällen;
- Bestimmung der Gemische und Beimischungen für die Lehm-masse;
- Beurteilung des Produktionsprozesses: Nachweis über technologische Vorgänge im vorgefertigten Wandbauelement und Einflüsse auf die Qualität durch den Transport oder die Baustellenfertigung;
- Baustellentests: Langzeitbeobachtung des Trocknungsverhaltens der Bauteile im Zusammenhang mit der Luftfeuchtigkeit;
- Labortests: Verhalten der vorgefertigten Bauelemente in Spannungszyklen, Spannungsdehnung zwischen Holzrahmen und Lehmgefach, Querschwingung auf die diagonale Verstrebung.

Vorbereitende Laboruntersuchungen

Die grundlegenden Labortests sollten Auskunft geben über die Zusammensetzung der Gemische, Stabilisatoren und Beimischungen. Als Hauptmaterial wurde Baustellenlehm verwendet. Die Korngrößenverteilungskurve wurde nach tschechischem Standard angefertigt. Eine endgültige Entscheidung über die Stabilisatoren und Beimischungen wurde nach den vorliegenden Ergebnissen der Tests zur Druckfestigkeit und zum statischen Elastizitätsmodul unter Druck getroffen. Handgepresste Testwürfel in der Größe 100×100×100 mm wurden in Stahlformen hergestellt mit unterschiedlichen Stabilisierungsmethoden: (I): Ohne Beimischungen; (II): mit 5% Kalk CS; (III): mit 5% Zement 32,5 R III/A; (IV): mit 5% des hydraulischen Bindemittels MULTIBAT; (V): mit 20% Flugasche.

Die Untersuchungen zur Druckfestigkeit und dem statischen Elastizitätsmodul unter Druck erfolgten auf der Basis tschechischer Standards mit 7, 14 und 28 Tagen Abbindezeit. Der Einfluss einer „vorgetäuschten“ Belastung wurde untersucht.

Rammed earth for prefabricated load-bearing structures – a pilot project

This paper outlines the first results and experiences of developmental prefabricated wall panels with a wooden frame and reinforced rammed earth core. The use of earth as a modern structural material brings special advantages and consequences but also presents risks and technological challenges. The combination of highly efficient technologies on the one hand and natural “low-tech” and “low-cost” materials on the other allows one to utilise the specific properties of each.

From an environmental point of view, the advantages of using earth as a building material are especially: (i) the use of renewable sources, (ii) the use of materials with low embodied energy, embodied CO₂, and embodied SO₂, (iii) the use of recycled and easily recyclable material, and (iv) the use of local material sources.

Prefabrication is one of the basic structural principles of sustainable building. It potentially allows one to (i) minimise on-site construction time, (ii) to reduce the occurrence of technological faults and (iii) to reduce the negative impact of site works on the environment.

The technological benefits of prefabricated earth structures are mainly: (i) a stable source of basic constituents of a consistent quality for the mixture, (ii) better quality and a reduced risk of technological problems, (iii) the ability to prefabricate structural elements off-season, (iv) sheltered manufacturing conditions, and (v) the ability to ensure sufficient ageing time for shrinkage and other changes in material volume.

Methodological and conceptual approach

In the Czech Republic, there is no pre-existing practical experience in the branch of using contemporary pre-formed or prefabricated earthen structures. To date, prefabrication has been used in only a very small number of examples. Pilot projects realised abroad [1,2,3] using prefabricated earthen structures show great potential and a number of benefits.

The aim of the project was to assess the possibility of manufacturing prefabricated earth structures and their potential for a more efficient use of earth as a modern structural material. The results have been achieved as part of research activities at the

CIDEAS “Centre of Integrated DEsign of Advanced Structures” at the Faculty of Civil Engineering of the CTU in Prague.

The project focuses on the following key issues:

- structural design of the panel according to a structural analysis in different case scenarios
- design of the basic mixture and admixtures for the earthen core
- production process assessment – verification of the technological process of prefabricating wall panels, impact of transport on the quality, ways of handling on the building site
- in-situ tests – long-term monitoring of the drying curve for the earthen core of the panels placed in the structure in correlation with air humidity
- laboratory tests – behaviour of the prefabricated wall panels under stress cycles, the strain curve and its distribution between earthen core and wooden frame, determination of transverse vibration of diagonal bracing of wall panel

Preliminary laboratory tests

Basic laboratory tests were identified to verify mixture components, stabilizers and admixtures. Earth from the site was used as a material source for the mixture. The grain size distribution curve was determined according to Czech standards in order to identify basic characteristics.

The choice of stabilizers and admixtures was informed by the results of preliminary tests of compressive strength and the static modulus of elasticity in compression. Hand-rammed 100 × 100 × 100 mm test specimens were produced in steel forms using various means of stabilization: (i) without admixture, (ii) 5 % lime CS, (iii) 5 % cement 32.5R III/A, (iv) 5 % hydraulic binder MULTIBAT, (v) 20 % fly ash.

The compressive strength and static modulus of elasticity in compression were measured in accordance with Czech standards after 7, 14 and 28 days of drying/curing. The impact of the direction of acting load was also tested.

After assessment of the results of the compressive strength tests, the hydraulic binder Multibat was used as an admixture to increase the structural performance of the earth core and to increase protection and robustness during transportation.



Aufgrund der Ergebnisse der Druckfestigkeitsuntersuchungen wurde der hydraulische Binder MULTIBAT als Beimischung bestimmt für die Erhöhung der statischen Parameter der Lehm-masse und für die Verbesserung des Schutzes und die Erhöhung der Widerstandskraft der Bauteile beim Transport.

Vorgefertigte Wandbauelemente

Die ersten vorgefertigten Wandbauelemente in der Größe von 2400×910×150 mm wurden entsprechend der Geschosshöhe und der Bestimmung für eine tragende Innenwand entworfen. Die Holzrahmen wurden mit dem Stahlbinder BOVA verbunden und die Verstrebung mit Stahlrohr verschraubt. Letztere wurde eingebracht zur Verhinderung von Schrumpfung zwischen Holzrahmen und Lehmgefachen und auch als Sicherheit beim Transport der Bauteile. Die statische Analyse der vorgefertigten Elemente hat mögliche Belastungen bei der Produktion, dem Transport und Aufbau berücksichtigt.

Das erste so produzierte Wandbauteil wurde im Mai 2007 hergestellt. Einfache 300 mm breite verschraubte Holzbretter wurden als Gleitschalung verwendet. Der Lehm wurde in Lagen von 50 bis 70 mm Höhe eingestampft. Dabei wurden zwei unterschiedliche Methoden angewendet: (I): Handstampfen mit einem Holzstampfer; (II): Elektrisch angetriebener Pressluftstampfer für maschinelles Stampfen.

Die Qualität der handgestampften Teile war wohl gut, aber die geringere Produktivität nicht ausreichend für eine Massenproduktion. Stampfen mit einem Pressluftstampfer ist effizienter, die Qualität höher und der Feuchtegehalt geringer mit niedrigerer Schrumpfung während der Abbindung. Der technische Prozess wird weiter verfolgt werden während des Baus eines Niedrigenergiehauses in der Nähe von Pilsen in Tschechien. Das Haus wurde entworfen als tragende Holzrahmenkonstruktion. Zwei parallele Innentrennwände dienen als Hitzespeicher und sind als vorgefertigte Wandbauelemente bestehend aus Holzrahmen mit Stampflehmgefachen entworfen worden. Das Haus ist gegenwärtig im Bau. Der Zusammenbau ist für September/Oktober 2008 geplant.

Schlussfolgerung

Das Projekt zeigt einen Weg auf, wie nachhaltiges Bauen mit Lehm im modernen Baukonstruktionswesen möglich ist. Der größte Gewinn liegt nicht nur in der Nutzung von Lehm als wiederverwertbarem Baustoff, sondern auch in der Anwendung von Vorfabrikation als effizienter Technik, die zur Reduzierung negativer Baueinflüsse auf die Umwelt beiträgt.

Das Vorhaben wurde finanziell unterstützt vom Ministerium für Erziehung, Jugend und Sport, Projekt Nr. 1M579, im Rahmen der Aktivitäten des CIDEAS Forschungszentrums.

Referenzen

- [1] WALKER, P., KEABLE, R., MARTIN, J., MANIATIDIS, V.: Rammed Earth: Design and Construction Guidelines, BRE Bookshop, Watford, 2005, ISBN 1-86081-734-3.
- [2] JAKLIN, T., DEPTA, J.: Entwicklung raumhoher, lastabtragender Außenwand-Lehmhaufertigelemente, Konferenztagungsband „Moderner Lehm-bau 2001“, Fraunhofer IRB Verlag, 2001, ISBN 3-8167-6118-6
- [3] MEINGAST, R.: Das Projekt Lehm-Passivhaus-Bausystem, Konferenztagungsband „Moderner Lehm-bau 2003“, Fraunhofer IRB Verlag, 2003, ISBN 3-8167-6277-8

1 Verschiedene handgepresste Testwürfel in der Größe 100 × 100 × 100 mm
Series of hand-rammed 100 × 100 × 100 mm test specimens

2 Druckfestigkeitstest: Die Belastungsrichtung ist parallel zur Stampfrichtung
Compressive strength test – direction of acting load is parallel to direction of ramming

3 Druckfestigkeitstest: Die Belastungsrichtung entspricht der normalen Stampfrichtung
Compressive strength test – direction of acting load is normal to direction of ramming



Prefabricated wall panels

The first prefabricated wall panel (2400 × 910 × 150 mm) was designed according to floor height and mode of usage as interior or load-bearing wall. The structural joints of the wooden frame are achieved with steel BOVA nailplates and the diagonal bracing with a steel threaded rod. The diagonal bracing is also used to decrease the impact of shrinkage between the wooden frame and the earthen core and also to maintain structural stability during transportation. The structural analysis of the prefabricated wall panels was undertaken for a series of envisaged load cases (production, transportation and structural case).

The first prefabricated wall panel was produced in May 2007. Simple wooden boards 300 mm apart were fixed with hand screws and used as a sliding form. Ramming of the earthen core was performed in layers of around 50-70 mm.

Two approaches to ramming the earth core were used: (i) hand ramming with simple wooden tamper, (ii) a pneumatic rammer driven by compressed air for machine ramming. The quality of the hand-rammed wall was sufficient but working efficiency was not as high as with machine ramming and not sufficient for large-scale manufacturing. The pneumatic rammer increases both working efficiency and the quality of structure. This technology also allows a lower water content to be used which leads to reduced shrinkage during drying and curing.

The entire technological system will be assessed through the construction of a low-energy private family house near Pilsen, CZ. The building has been designed as a timber structure with load-bearing timber columns. Two parallel diaphragm interior walls serve as heat accumulator and are planned as pre-fabricated wall panels with wooden framing and rammed reinforced earth core. Presently the construction of the house is in process. The pre-fabrication of the wall panel elements is planned for August 2008 and they are to be brought on-site in September or October 2008.

Conclusions

This project represents one of the possible approaches to sustainable building using earth structures as a modern technology. The main benefit is not only in using earth as a natural and easily recyclable material but also in using prefabrication as an efficient technology decreasing the negative impact of building on the environment.

This project has been achieved with the financial support of the Ministry of Education, Youth and Sports, project No. 1M0579, as part of research activities at the CIDEAS research centre.

References

- [1] WALKER, P., KEABLE, R., MARTIN, J., MANIATIDIS, V.: *Rammed Earth: Design and Construction Guidelines*, BRE Bookshop, Watford, 2005, ISBN 1-86081-734-3.
- [2] JAKLIN, T., DEPTA, J.: *Entwicklung raumhoher, lasabtragender Außenwand-Lehm- und Lehm-Blockbauelemente*, proceedings of the conference "Moderner Lehm- und Lehm-Blockbau 2001", Fraunhofer IRB Verlag, 2001, ISBN 3-8167-6118-6
- [3] MEINGAST, R.: *Das Projekt Lehm-Passivhaus-Bausystem*, proceedings of the conference "Moderner Lehm- und Lehm-Blockbau 2003", Fraunhofer IRB Verlag, 2003, ISBN 3-8167-6277-8

4 Konstruktionsdetail eines Wandbauteiles
Structural detail of the wall panel. Ramming with a hand rammer

5 Stampfen mit einem Pressluftstamper und elektrischer Luftzufuhr
Ramming with a pneumatic rammer and electric air pump

6 Fertiggestelltes Wandbauelement in der Größe von 2400 × 910 × 150 mm
Finished prefabricated wall panel, 2400 × 910 × 150 mm