

KARTONS KĀ ILGTSPĒJĪGS BŪVNICĪBAS MATERIĀLS, TĀ POTENCIĀLS BŪVNICĪBĀ LATVIJĀ

Elizabete Dreimane

**PAPĪRS, KARTONS, KARTONA BŪVNICĪBA,
ILGTSPĒJĪGI MATERIĀLI, PĀRSTRĀDE,
ŠIGERU BANS**

Rakstā aplūkots kartona un papīra kā būvmateriālu potenciāls, pievērsoties to vēsturiskajam pielietojumam un mūsdienu arhitektūras praksēm. Kartons parasti tiek uzskatīts par trauslu un īslaicīgu materiālu, tomēr, pateicoties tā vieglumam, pārstrādes iespējām, labajām siltumizolācijas un akustiskajām īpašībām, tas piedāvā alternatīvu tradicionālajiem būvmateriāliem. Izmantojot salīdzinošo analīzi, rakstā apkopoti starptautiski pētījumi un projekti, kas parāda kartona dažādās pielietošanas iespējas, tai skaitā Šigeru Bana (*Shingeru Ban*) darbi, “BAMP!” pētnieku grupas iniciatīvas Vācijā, kā arī uzņēmuma *Bat’IPAC* izstrādātie risinājumi Francijā.

Rakstā sniegts pārskats par kartona mehāniskajām un vides īpašībām, kā arī identificēti izaicinājumi, tostarp materiāla hidroskopiskums un ugunsizturība. Papildus tiek apsvērts, kā kartons var tikt izmantots Latvijas būvniecības kontekstā, ņemot vērā klimata apstākļus, saliekamo konstrukciju iespējas un sabiedrībā esošo nepieciešamību pēc ilgtspējīgas būvniecības.

Secinājumos uzsvērts, ka kartons, apvienojumā ar piemērotu projektēšanu un kombinācijā

ar citiem materiāliem, var kļūt par nozīmīgu resursu ilgtspējīgas būvniecības attīstībā Latvijā. Turpmākie pilotprojekti un sabiedrības izglītošana būtu būtisks solis materiāla plašākai ieviešanai.

IEVADS

Kartons un papīrs galvenokārt tiek uztverts kā trausls īslaicīgi lietojams materiāls, ko izmanto informācijas uzglabāšanai – grāmatas un dokumenti, iepakojumos, higiēnas produktos un sadzīves vajadzībām (Knaack et al., 2023). Latvijā būvniecība turpina attīstīties, taču nereti jaunbūvēm tiek izvēlēti tradicionāli būvmateriāli, neizvērtējot ilgtspējīgas un inovatīvas alternatīvas. Francijas pieredze, kur būvniecībā izmantots kartons ar izteiktām siltumizolācijas un skaņas slāpēšanas īpašībām, aktualizē diskusiju par šī materiāla iespējām arī Latvijas kontekstā. Kartons ir salīdzinoši viegls, kas samazina pamatu noslodzi, to iespējams pārstrādāt, un tas ir plaši pieejams. Šīs īpašības padara kartonu par pieejamu alternatīvu dažādos būvniecības posmos.

Turklāt starptautiskā praksē atklāts, ka kartonu iespējams izmantot ne tikai kā norobežojošu, bet arī kā nesošu elementu, tādējādi apliecinot materiāla mehānisko potenciālu. Salīdzinot ar citiem būvmateriāliem, kartonam piemīt gan funkcionālas, gan ekoloģiskas priekšrocības. Latvijā līdz šim tēma ir pētīta ierobežoti, un trūkst plašāku, sistemātisku pētījumu, kas izvērtētu kartona pielietojumu dažādos būvniecības aspektos. Šī raksta mērķis ir izvērtēt kartona potenciālu kā alternatīvu būvmateriālu celtniecībā, analizējot tā īpašības, salīdzinot ar citiem materiāliem un iepazīstinot ar piemēriem no ārvalstu prakses. Raksts kalpo kā aicinājums tālākai izpētei un praktiskai testēšanai Latvijā apstākļos.

PĒTĪJUMA METODES

Raksta tapšanā izmantotā metodoloģija balstīta uz Eiropā veiktajiem kartona vēstures un kartona arhitektūras pētījumiem, izdoto zinātnisko literatūru, publikācijām, rakstiem un interneta resursiem.

Raksta ietvaros veikta salīdzinošā analīze, kas lietota, lai izšķirtu kartona lietošanas veidus būvniecībā, to īpašības un attīstības iespējas.

Dalēji strukturēta intervija ar japāņu izcelsmes būvinženieri Akio Sassu (Akio Sassa), kuram ir pieredze ar dažāda veida vieglām un inovatīvām konstrukcijām.

Rakstā arī iekļauta datu apkopošana, veidojot strukturētu materiālu īpašību tabulu, lai analizētu kartona pielietošanas iespējas Latvijā.

KARTONS KĀ BŪVMATERIĀLS: SASTĀVS UN ESOŠAIS PIELIETOJUMS

KARTONA VĒSTURE UN LĪDZŠINĒJIE IZMANTOŠANAS VEIDI

Papīra lietošana arhitektūras vajadzībām aizsākusies Ķīnā un Japānā. Tiek uzskatīts, ka 105. gadā mūsu ērā Ķīnā lauksaimniecības ministrs Tsai-Lun izgudroja papīru (Knaack et al., 2023). Sākotnēji papīrs tika veidots no līnēm, zīdkoka kaņepēm un citiem šķiedrainiem dabas materiāliem, veidojot ar ūdeni šķīdinātu masu, kura saulē tika izkaltētā, iegūstot pirmatnējo papīru. Pilnveidojot papīra izgatavošanu, Ķīnā un Japānā saka to pielietot arhitektūrā, īpaši izmantojot Washi papīru, veidojot dekoratīvus, brīvstāvošus sienas paneļus, kuri izkļiedēja saules gaismu, tomēr tiem nebija skaņas izolējošu īpašību.

Eiropas papīra izgatavošanas kultūra aizsākās Spānijā 13. gadsimtā, kur tas tika izgatavots iepakojšanas un grāmatu izgatavošanas nolūkiem. Tikai 1799. gadā franču izgudrotājs Louis-Nicolas Roberts izgudroja mehanizētu papīra izgatavošanas iekārtu un 1843. gadā tika panākts, ka papīru var izgatavot no koksnes – celulozes šķiedrām. Kopš 19. gadsimta papīra izmantošana kļuva populāra visā Eiropā (Knaack et al., 2023).

Tomēr, saprotot, ka vairākiem nolūkiem nepieciešams biezāks papīrs, tika attīstīts kartons, kas ir papīrs, kura blīvums pārsniedz 200 g/cm^3 (Avan, 2009). Kartons ir slāņveida materiāls, kas veidots no pārstrādāta papīra vai celulozes šķiedrām, kas tiek savienotas ar dabīgām vai mākslīgām līmēm, veidojot stingru un vieglu struktūru. Tā ražošanā parasti tiek izmantots vairāku veidu papīrs, īpaši nozīmīgs ir *kraft* papīrs, kas piešķir kartonam lielāku izturību pret mehānisku slodzi (Latka, 2017). Kartona mehāniskās īpašības – tā vieglums, elastība un izturība spiedē – padara to par interesantu materiālu gan mēbeļu dizainā, gan arhitektūras eksperimentiem.

Pirmie eiropiešu mēģinājumi izmantot papīru arhitektūrā tika prezentēti 1889. gada pasaules izstādē (*World's Fair*) Parīzē, kur franču uzņēmums ADT piedāvāja saliekamo kartona vasaras māju – ēka tika veidota no dubulta 4 mm bieza kartona paneļiem, kuru dimensijas bija $600 \times 800 \text{ mm}$. Šos paneļus bija viegli transportēt un salikt.

Īpaši kopš 20. gadsimta vidus Eiropā veikti dažādi eksperimenti ar kartonu arhitektūras un dizaina jomā. Viens no ikoniskākajiem piemēriem ir Frenka Gērija (Frank Gehry) radītā *Easy Edges* mēbeļu kolekcija 1970. gados, kurā viņš izmantoja gofrēto kartonu kā strukturālu materiālu, kas vienlaikus ir vizuāli pievilcīgs un praktisks (Moran, 2018). Kartona mēbeles ir kļuvušas par ekoloģiskas domāšanas simbolu – tās ir pārstrādājamās, vieglas un ērti transformējamās.

Kartons ir izmantots arī pārvietojamu mājokļu prototipos, izstāžu arhitektūrā un pat katas-trofu zonu pagaidu patvērumos. Tā potenciāls arhitektūrā kļūst arvien aktuālāks, jo pieaug pieprasījums pēc ilgtspējīgiem, lētiem un viegli, un ātri uzbūvējamiem risinājumiem.

KARTONA SASTĀVS UN TIPI

Papīrs un kartons savas strukturālās īpašības iegūst no izejmateriāla – koksnes celulozes. Koksnes celuloze ir galvenā sastāvdaļa papīra ražošanā, un tās saturs kokā svārstās no 40 līdz 47%. Tāpēc ir būtiski izprast, kāda koksne nepieciešama kvalitatīva papīra un attiecīgi – arī kartona izgatavošanai. Papīra un kartona kvalitāti nosaka izmantotā izejmateriāla ķīmiskās un fizikālās īpašības. Tā kā kartons ir kompozītmateriāls, kas sastāv galvenokārt no celulozes šķiedrām, iegūtām no koksnes vai pārstrādāta papīra, tad izejmateriāla kvalitātei ir būtiska nozīme kartona gala īpašību veidošanā (Knaack et al., 2023).

Mikroskopiskā līmenī papīra struktūru veido celulozes fibrillas – tās ir smalkas šķiedras, pateicoties smalkajiem elementiem un ūdenražā saišu tīklam, celulozes fibrillas ir mehāniski ļoti izturīgas un nešķīst ūdenī (Latka, 2017). Papīra mehāniskās īpašības būtiski atkarīgas no šķiedru izkārtojuma un saišu daudzuma starp tām – jo vairāk saišu, jo lielāka izturība.

Papīra izgatavošanas laikā aptuveni 70–80% šķiedru orientējas papīra izgatavošanas mašīnas

virzienā (*machine direction*), bet pārējās šķiedras – šķērsvirzienā vai perpendikulāri (*cross direction, Z-direction*). Šī neregulārā struktūra piešķir papīram un kartonam īpašību, ka tie ir izturīgāki stiepē nekā spiedē. Līdz ar to materiāla mehāniskās īpašības var ievērojami atšķirties, pat ja papīrs izgatavots no viena un tā paša izejmateriāla (Knaack et al., 2023).

Kartona izgatavošanas procesā tiek veidoti vairāki slāņi ar atšķirīgām īpašībām. Slāņu kombinēšana piešķir materiālam augstāku mehānisko izturību. Gofrētie slāņi nodrošina lielu spiedes izturību, savukārt gaisa spraugas starp tiem palīdz saglabāt kartona nelielo svaru. Kartona ražošanā izmanto dažādas saistvielas un pārklājumus – gan dabīgus, piemēram, uz cietes bāzes veidotas līmes, gan sintētiskas līmvielas, kā arī mitrumizturīgus pārklājumus.

Turklāt kartona makroskopiskās īpašības, piemēram, biezums, porainība un blīvums (kas parasti ir 0,5–0,75 g/cm³), ietekmē tā mehānisko izturību un gaisa caurlaidību. Jo augstāka porainība, jo zemāka mehāniskā izturība, taču labāka siltumizolācija. Kartons, līdzīgi kā papīrs, ir nevienmērīgs, anizotropisks un higroskopisks materiāls, kas ir plastisks (Latka, 2017). Šīs īpašības padara kartonu daudzpusīgi izmantojamu, un atkarībā no kartona veida tas var kombinēt vairākas no vērtīgajām īpašībām.

Tālāk uzskatīti būvniecībā plašāk lietotie kartona veidi atkarībā no to uzbūves:

Gofrētais kartons (*corrugated cardboard*) – materiāls, kas sastāv no pamīšus izvietotiem plakaniem un gofrētiem papīra slāņiem. Parasti tas veidots no 2 līdz 5 papīra kārtām, kur abas virsmas ir plakanas vai viena plakana un viena gofrēta. Gofrēto kartonu iedala pēc gofrējuma profila. Populārākie gofrējuma veidi būvniecībā ir A-gofrējums (aptuveni 5 mm augsts), B-gofrējums (3 mm) un C-gofrējums (4 mm). Atkarībā no gofrējuma virziena šim materiālam var būt labas siltumizolācijas īpašības (perpendikulāri gofrējuma virzienam) vai augsta mehāniskā stiprība (paralēli gofrējuma virzienam). To bieži izmanto iepakojumu ražošanā, maketēšanā un eksperimentālajā būvniecībā (Jasiolek et al., 2021).

Presētais kartons (*solid board*) – veidots no cieši salīmētiem papīra slāņiem, kas novietoti dažādos šķiedru virzienos, bez gofrējuma, koksnes

šķiedras augstā temperatūrā un spiedienā tiek presētas presē. Ņemot vērā, ka materiāls ir salīdzinoši ļoti blīvs, tam ir ievērojami augstāka ugunsnoturība nekā citiem kartona veidiem (Knaack et al., 2023). To bieži izmanto mēbeļu, rotaļlietu izgatavošanā.

Kartona caurules (*paper tubes*) – vairākām kārtām līmēta un spirāli vai paralēli tinuma metodē izgatavota presēta kartona konstrukcija ar augstu blīvumu. Atkarībā no izmēriem un ražošanas metodes tās var būt ar diametru no 10 mm līdz pat 1600 mm, bet kartona biezums parasti variē no 0.5 līdz 25 mm. Kartona caurules plaši tiek izmantotas kā slodzi nesoši elementi pagaidu arhitektūrā, kā arī iepakojuma industrijā, piemēram, ruļļu uzglabāšanai un transportēšanai (papīrs, tekstils, plastmasa u.c.) (Latka, 2017).

Šūnu kartons (*honeycomb cardboard*) – trīsslāņu materiāls, kas sastāv no sešstūra formas šūnām, kas atrodas starp divām papīra kārtām. Visbiežāk izmantotie paneļu biezumi ir 50, 25 un 12,5 mm, bet šūnu izmērs – 14 mm. Šī raksturīgā struktūra nodrošina augstu spiedes izturību perpendikulāri virsmai, saglabājot nelielu svaru. Turklāt šūnu kartonam piemīt salīdzinoši labas siltumizolācijas īpašības. To izmanto gan mēbeļu ražošanā, gan eksperimentālās būvēs (Jasiolek et al., 2021).

Kartons ar L un U formas profiliem (*L- and U-shapes*) – L formas profili veido 90° leņķi un tiek izmantoti, lai aizsargātu izstrādājumu malas un stūrus, piemēram, mēbeles, durvis vai stikla paneļus. U formas profili aptver trīs izstrādājuma puses, nodrošinot papildu aizsardzību pret triecieniem un skrāpējumiem. Tie ir īpaši noderīgi, lai nostiprinātu un aizsargātu garus vai trauslus priekšmetus, piemēram, galda virsmas, durvis vai metāla profilus.

Būvniecības nolūkos svarīgi izvērt īpašības, kurās nepieciešamas, jo šūnu kartonam ir labākas siltuma un skaņas izolācijas īpašības, presētajam kartonam labākas uguns noturības spējas, kamēr kartona caurules un L un U profilu kartoni biežāk tiek izmantoti nesošajās konstrukcijās.

BŪVNICĪBAI PIEMĒROTA KARTONA IZGATAVOŠANA UN DZĪVES CIKLS

Kartons, kā pārstrādājams un daļēji atjaunojams materiāls, tiek ražots galvenokārt no otrreiz pārstrādātas celulozes šķiedrām, kā arī no koksnes masas, ko iegūst no skuju un lapu kokiem. Papīru un kartonu iespējams ražot arī no citiem augiem, piemēram, salmiem, kaņepēm, kokvilnas, bambusa un niedrēm (Latka, 2017). Pateicoties šai izejvielu daudzveidībai, kartons kļūst par elastīgu un ekoloģiski pielāgojamu materiālu, kura izejmateriāli ir pieejami visur pasaulē. Tā ražošanas process ir salīdzinoši vienkāršs un energoefektīvs, īpaši salīdzinot ar citiem celtniecības materiāliem, piemēram, betonu vai tēraudu.

Ražošanas posmi:

Izejvielu sagatavošana – tiek sagatavota celulozes masa no koksnes, pārstrādāta papīra vai citiem celulozi saturošiem materiāliem. Piemēram, CEPI valstīs 2014. gadā otrreizējās pārstrādes līmenis sasniedza 71% (Latka, 2017).

Mikstināšana un sajaukšana – masa tiek sajaukta ar ūdeni, pievienojot pildvielas un saistvielas, lai iegūtu viendabīgu papīra masu.

Slāņu veidošana – kartona struktūra tiek veidota, papīra šķiedras izlīdzinot un slāņojot uz transportlentas vai ruļļiem. Ja nepieciešams, vienā vai vairākos slāņos tiek ievadīta viļņota forma (gofrējums), slāņi tiek salīmēti ar dabīgām (piemēram, cietes) vai sintētiskām līmvielām.

Presēšana un žāvēšana – kartons tiek izžāvēts, presēts un izlīdzināts, lai panāktu vienmērīgu biezumu un virsmas kvalitāti.

Apstrāde – atsevišķiem kartona veidiem tiek veikta papildu apstrāde, piemēram, pārklāšana ar ūdensizturīgu vai ugunsizturīgu pārklājumu, lai tos pielāgotu specifiskam lietojumam (piemēram, būvniecībā izmantotajam parafinētajam kartonam).

Būvniecībā izmantojama kartona dzīves cikls:

Kartona kā būvmateriāla priekšrocība ir tā aprites iespēja – tas ir ne tikai pārstrādājams, bet arī biodegradējams. Šeit uzskaitīts būvniecībā izmantota kartona dzīves cikls:

1. papīra izejmateriālu iegūšana no koksnes un pārstrādājot izmantotu papīru;
2. Papīra ražošana;
3. Būvmateriāla – kartona ražošana no papīra;

4. Būvniecība;
5. Ēkas demontāža;
6. Kartona pārstrāde papīra izejmateriālā.

Saskaņā ar Eiropas Vides aģentūras datiem kartona ražošana rada līdz 70% mazāk CO₂ emisiju nekā plastmasas vai metāla ražošana līdzvērtīgam pielietojumam (*European Environment Agency*, 2024). Ja ražošanā tiek izmantota atjaunojamā enerģija un lokālas izejvielas, kartons kļūst par vienu no videi draudzīgākajiem materiāliem būvniecībā.

ESOŠIE BŪVNICĪBAS PIEMĒRI. TO PRIEKŠROCĪBAS UN TRŪKUMI

Šajā nodaļā sīkāk tiks analizētas esošas dažādu mērogu kartona būves, īpašu vērību piešķirot to mehāniskajai izturībai, reakcijām dažādos laika apstākļos, iespējām dažādu formātu un izmēru būvniecībā.

MAZĀS FORMAS ĪSTERMIŅA BŪVES

Kartona plašais patēriņš iepakojumos sniedz iespēju arhitektiem rīkoties ne tikai izgatavojot no kartona jaunus paneļus vai formas, kuras izmantot būvniecībā, bet arī izmantot esošos kartona resursus jaunu būvju radīšanai. Šāda pieeja izteikti tiek izmantota tieši nelielas formas būvju veidošanā, kā, piemēram, 2014. gadā Irānā esošās Haijāma universitātes (*Khayyam University*) veidotais kartona paviljons. Tā izstrādē izmantotas 1014 lietotas kartona caurules, radot paviljonu, kas bija 2,9 m augsts un 6 m plats (Fattahi, 2014). Līdzīgs projekts, kurā liela nozīme piešķirta esošu kartona formu atkalizmantošanai, ir japāņu arhitekta Šigeru Bana projektētajā Papīra tējas namiņā. Tā izstrādē izmantotas lietotas kvadrātveida kartona caurules, un kā galvenā būves priekšrocība tiek minēta iespēja to viegli izjaukt, pārvietot un salikt no jauna (*Shingeru Ban Architects*, 2008).

Plūdi kļūst par arvien nopietnāku problēmu apdzīvotās vietās, un plūdu saasināšanos ietekmē cilvēku darbību negatīvā ietekme uz klimatu (*European Environment Agency*, 2024). Japāņu arhitekta Šigeru Bana komanda, sadarbojoties ar Pakistānas organizāciju *Safe Delivery Safe Mother (SDSM)*, izveidoja projektu ilgtspējīgu mājokļu risinājumam plūdu skartajiem reģioniem, kurā paredzēts neliela izmēra ēku būvniecībā izmantot kartona caurules, bambusu, plastmasas kastes un niedru jumta segumu. Šīs ēkas ir ātrs

un viegli izbūvējams risinājums plūdu skartajos reģionos, kā arī pirms šī projekta realizēšanas Pakistānā nekad netika lietotas kartona caurules. Šajā projektā paredzēts, ka ēkas nesošais elements ir apstrādātas kartona caurules, tā kā pārējie materiāli ir viegli, tad kartonam nav nepieciešama liela nestspēja. Kā arī nepieciešamības gadījumā gan kartona, gan bambusa detaļas ēkā iespējams nomainīt (Aslam, 2024).

Apskatītie arhitektūras piemēri apliecina, ka kartons ir izmantojams kā salīdzinoši lēts un ātri izstrādājams pagaidu būvju materiāls, tomēr īpaša būve Jaunzēlandē pierāda, ka ēka, kuras būvniecībā izmantots kartons, var būt paliekoša. Pēc 2011. gada 6.3 magnitūdu spēcīgās zemestrīces Kraistčērčā arhitekts Šigeru Bans izveidoja pagaidu Kartona katedrāli (*Cardboard cathedral*), lai radītu pulcēšanās vietu sabiedrībai, kura atguvās no katastrofas (Shingeru Ban Architects, 2013). Ēkas konstrukcijās arhitekts izmantoja 98 kartona caurules, kā arī 8 kravas konteinerus, kas veido būves sienas un kā jumta materiāls izmantots polikarbonāts (Crook, 2025). Ēkas jumts tika veidots no 16 m garām presētā kartona caurulēm ar diametru 600 mm, tā kā to stiprība nebija pietiekama, tad caurulēs tika ievietotas kartona sijas (Latka, 2017). Par šo ēku un tās materiālu arhitekts Šigeru Bans ir teicis: “Ēkas kalpošanas ilgums nav atkarīgs no izmantotajiem materiāliem. Tas ir atkarīgs no tā, kā cilvēki ar ēku rīkojas. Ja ēka tiek mīlēta, tā kļūst par pastāvīgu. Ja tā netiek mīlēta, pat betona ēka var kļūt īslaicīga. Arī materiāla stiprībai nav tiešas saistības ar ēkas izturību. Tā ir atkarīga no konstrukciju projektēšanas. Betona ēkas zemestrīcēs var tikt viegli iznīcinātas, savukārt ēkas no papīra caurulēm var pārciest zemestrīces bez postījumiem” (*The Guardian*, 2005).

KARTONA IZGLĪTĪBAS IESTĀDES BŪVniecība

Apskatot zinātniskos pētījumus un publikācijas par kartona izmantošanas iespējām būvniecībā, īpaša uzmanība pievērsta 2001. gadā Lielbritānijā, Sautendonsī, Vestklifā pie jūras (*Westcliff-on-Sea, UK*) realizētajam projektam – Vestklifas pamatskolas funkcionālajam papildinājumam. Arhitektu birojs *Cottrell & Vermeulen Architecture* sadarbībā ar inženieru uzņēmumu *Buro Happold* izstrādāja projektu 90 m² ēkai, kas kalpo kā papildu mācību un pulcēšanās telpa skolai. Tā kā ēka tika plānota kā skolas papildinājums aptuveni 20 gadu periodam, vietējās pašvaldības piekrita izmantot eksperimentālu risinājumu – ēkas konstrukcijās izmantot kartonu. Šis projekts

tiek uzskatīts par pirmo ilgtermiņa lietošanai paredzēto kartona ēku Eiropā.

Kā nesošais konstruktīvais elements ēkā izmantotas presēta kartona caurules, kas apstrādātas ar laku, nodrošinot aizsardzību pret uguni un mitrumu. Jumta konstrukcijās izmantots koka karkass, uz kura izvietoti pēc origami principa locīti kartona paneļi, kas palielina materiāla mehānisko izturību. Ārsienas un iekšsienas veidotas no gofrētā un šūnu kartona paneļiem – interjera apdarē izmantots 4 mm biezs presētais kartons, bet eksterjerā kartona paneļi pārklāti ar 16 mm biezu šķiedru cementu, kas pasargā no mehāniskiem bojājumiem un vides ietekmes.

Komentējot projektu, britu būvinženiere Helēna Gribona (Helen Gribbon) norādījusi, ka “kartons ir tikpat izturīgs kā koks”. Šajā projektā ne vien izveidota ēka, kurā 90% izmantoto materiālu ir pārstrādājami, bet arī ieviests līdzdalības process, kurā skolas audzēkņi aktīvi piedalījās – gan sadarbojoties ar arhitektiem plānošanā, gan vācot pārstrādājamo kartonu, kas vēlāk tika izmantots būvniecībā.

KARTONA ĒKU BŪVniecības UZNĒMUMS FRANCIJĀ

2009. gadā Francijas uzņēmums *Bat'IPAC* izstrādāja pirmo koka karkasa ēku, kurā siltumizolācijas materiāla vietā tika izmantoti kartona paneļi, kas veidoti no šūnu tipa kartona. Šī pieeja, kas sākotnēji tika realizēta ar mērķi samazināt betona izmantošanu būvniecībā, kļuvusi par sociāli atbildīgas un videi draudzīgas būvniecības simbolu (*Envirobat Centre*, 2024).

IPAC paneļi sastāv no vairākiem savstarpēji līmētiem kartona slāņiem, kuru kopējais biezums sasniedz 15–20 cm. Starp šiem slāņiem esošās gaisa kabatas darbojas kā dabīgs siltuma un skaņas izolācijas slānis, radot efektu, kas līdzinās dubultajam stiklojumam. Šie paneļi ir pašnesoši, un tiem piemīt augsta formas stabilitāte, kas ļauj veidot ēkas sienas bez papildus nesošām konstrukcijām. Līdzīgi kā CLT (krusteniski līmēti koka) vai citu saliekamo koka konstrukciju gadījumā, arī *Bat'IPAC* sistēma ļauj būtiski samazināt būvdarbu laiku objektā, piemēram, vienkārtu ģimenes māju iespējams pilnībā uzbūvēt vien četru darba dienu laikā (*Envirobat Centre*, 2024).

GALVENIE IEGUVUMI UN TRŪKUMI

Iepriekšējās nodaļās apskatītajos piemēros atklājas, ka kartons gan īstermiņa, gan ilgtermiņa būvniecībā izmantots dažādās formās, šajā nodaļā tiks apkopotas galvenās kartona priekšrocības un trūkumi, kā arī risinājumi trūkumu novēršanai.

Dažādu veidu kartona priekšrocības:

Siltumvadītspēja – kartona siltumvadītspēja ir atkarīga no materiāla šķietamā blīvuma (*bulk density*) un struktūras, kartona paneļiem, kas veidoti no gofrētā kartona vai šūnu kartona ir mazākā siltumvadītspēja, tādēļ tie ir īpaši piemēroti izmantošanai, kā norobežojošs (siltumizolējošs) materiāls būvniecībā (Knaack et al., 2023).

Skaņas izolācija – Kartons, īpaši gofrētais un šūnu kartons, kombinācijā ar celulozes šķiedrām, kuras, iepildītas šūnās, rada porainu struktūru, ir atzīts par efektīvu materiālu skaņas absorbēšanai, piedāvājot ilgtspējīgu alternatīvu tradicionālajiem akustiskajiem risinājumiem. Pētījumi liecina, ka šādu materiālu akustiskās absorbcijas koeficients, īpaši vidējo un augsto frekvenču diapazonā, pārsniedz tradicionāli izmantoto ģipškartona paneļu spējas līdz pat 40 % (Secchi, 2016).

Zemas izmaksas – lai gan kopējās viengimenes ēkas būvniecības izmaksas no kartona ir līdzvērtīgas citu ierastu būvmateriālu ēkas kopējām izmaksām (Envirobat Centre, 2024), japāņu izcelsmes būvinženieris Akio Sassa min, ka “sabiedrībā, īpaši trešās pasaules valstīs, kartons tiek uzskatīts par nevērtīgu materiālu, tādēļ tas ir īpaši piemērots pagaidu mājokļu celtniecībai katastrofu skartajās teritorijās – to nevienam nav intereses zagt” (personiskā saziņa, 2025).

Ātra montāža un demontāža – būvniecības industrijā aktuāla kļuvusi nepieciešamība ēku detaļas izstrādāt rūpnīcā un saliekamā formā nogādāt būvlaukumā, lai mazinātu būvniecības izmaksas, laiku un neprecizitātes, kas var rasties būvlaukumā. Kartons ir pateicīgs materiāls, to iespējams iepriekš izgatavot un būvlaukumā gatavos paneļus vai nesošos elementus salikt. Kā arī demontāžas process ir salīdzinoši vienkāršs, elementus var izjaukt un nogādāt pārstrādei, vai izmantot atkārtoti, ja tie nav deformēti (Avan, 2009).

Modularitāte un formas brīvība – kartona būvmateriāli, kas veidoti no pārstrādātas papīra masas, ļauj realizēt dažādas ģeometriskas formas un organiskas virsmas. Kartonu var viegli formēt, apstrādāt un kombinēt, tādējādi radot pielāgotus arhitektūras risinājumus.

Ekoloģisks – viena no kartona priekšrocībām salīdzinājumā ar koka konstrukcijām ir tas, ka kartona ražošanai nav nepieciešams augstas kvalitātes koks un kartonu iespējams ražot arī no koka būvniecības pārpalikumiem – atgriezumiem, skaidām (Knaack et al., 2023). Kā arī jau minētā kartona ražošana un pārstrāde ir salīdzinoši videi draudzīgāka nekā citu materiālu ražošana.

Kartona trūkumi:

Mitruma absorbēšana – viens no būtiskākajiem kartona trūkumiem. Neapstrādāts kartons absorbē gaisā esošo mitrumu, kas izraisa tā deformēšanos un izturības samazināšanos. Šī kartona īpašība rada izaicinājumus konstrukcijās. Kā norāda Latka (2017), “papīra struktūras pēc savas būtības ir vieglas, tāpēc pamatnes loma ir divējāda: nodrošināt konstrukciju izturību pret vēja slodzēm un spēkiem, ko izraisa, piemēram, zemestrīces, un aizsargāt kartona struktūru no mitruma, kas nāk no zemes vai virsmas ūdeņiem”. Optimālais mitruma saturs papīram ir no 5% līdz 7%. Kad mitruma saturs sasniedz 13%, materiāla izturība ievērojami samazinās. Pie relatīvā mitruma līmeņa 60% mitruma saturs materiālā palielinās līdz 9,5%, bet pie 90% relatīvā mitruma tas sasniedz 15,8%, un papīra izturība samazinās par trešdaļu. Papīra izturību ietekmē gan temperatūras, gan mitruma līmeņu izmaiņas.

Degšana – kad būvniecībā tiek izmantots kartons ar lielu blīvumu (750 kg/m^3) tad iespējams ievērojami palielināt kartona ugunsizturību, vai izmantojot blīvāka kartona slāni šūnu vai gofrētā kartona pārklāšanai, tomēr zemāka blīvuma kartona izstrādājumos nepieciešams rast papildu risinājumus ugunsizturības uzlabošanai (Knaack et al., 2023).

Mikroorganismu ietekme – absorbējot mitrumu, kartons kļūst par piemērotu vidi tādu mikroorganismu kā pelējums attīstībai, ņemot vērā tā dabisko materiālu izcelsmi, Eiropas Biocīdu produktu regulas minēts, ka biocīdi var tikt izmantoti papīra aizsargāšanai pret nevēlamām mikroorganismiem.

Limitēta mehāniskā izturība – izmēru ziņā ievērojams projekts, kas veidots no kartona ir Šigeru Bana projektētais Japānas Pavilions 2000, Vācijā, kas tika veidots no 440 kartona caurulēm, katra no tām 40 m gara un ar 120 mm diametru, tomēr būvinžinieris Akio Sassa, runājot par kartona potenciālu, min, ka “manuprāt, Šigeru Bana projektā, kas tika izstrādāts sadarbībā ar būvinžinieru uzņēmumu, kurā agrāk es strādāju, tika sasniegts kartona izturības limits. Būvniecības laikā vairākas kartona caurules neizturēja slodzi un neatgriezeniski deformējās” (personiskā saziņa, 2025). Šis apliecina, ka kartonam, gluži kā citiem būvniecības materiāliem ir izmēru un izturības limiti, kurus jāņem vērā un jāpārbauda eksperimentējot.

Iespējamie uzlabojumi:

Ugunsizturība – lai kartons varētu atbilstoši tādiem būvnormatīviem, kā LBN 201-15 “Būvju ugunsdrošība” tikt lietots ēku būvniecībai, nepieciešams veikt materiāla apstrādi. Viens no variantiem, kā palielināt kartona ugunsizturību, ir kartona ražošanas procesā celulozes masai pievienot fosforu saturošas ķīmikālijas vai neorganiskos minerālus (Knaack et al., 2023). Otrs risinājums ir gatavos kartona paneļus mahāniski apstrādāt ar nedegošiem materiāliem, pārklājumu veidā. Diemžēl abi šie risinājumi sarežģī pārstrādes procesu, jo celulozes masu nepieciešams atdalīt no piejaukumiem.

Mitruma izturība – lai palielinātu papīra izstrādājumu mitruma izturību, pastāv vairākas impregnēšanas metodes:

Pārklāšana – uz gatavā kartona izstrādājuma rūpnīcā tiek uzklāts aizsargslānis. Pārklājumu var uzklāt ar mērcēšanu, karstspiedi, termofiksāciju, izsmidzināšanu vai krāsošanu ar mitrumu atgrūdošu līdzekli. Pārklājumi var būt gan dabīgi (bioloģiskas izcelsmes), gan mākslīgi. Izplatītākie mitrumu atgrūdošie līdzekļi ir: biopolimēri, sveķi, melamīna-formaldehīds, stikla šķiedra (GRP), sēra poliuretāns, izsmidzināts betons, parafīns, vasks, linsēklu eļļa un plastmasas pārklājumi. Šī metode var apgrūtināt materiāla pārstrādi, jo pārklājums iesūcas materiāla struktūrā (Latka 2017).

Laminēšana – šī metode ļauj apvienot papīru ar citiem materiāliem, piemēram, alumīnija plāksnēm, plēvē, PVC vai polietilēna foliju, vai poliuretāna putām. Tā rezultātā tiek iegūts

mitrumizturīgs papīrs ar “sendviča” tipa uzbūvi. Pārstrādes iespējas šajā gadījumā atkarīgas no izmantotās līmes un pārklājuma materiāla (Knaack et al., 2023).

KARTONA POTENCIĀLS LATVIJĀ

Kartons kā būvmateriāls Latvijā šobrīd netiek plaši izmantots, taču pieaugot ilgtspējas nozīmei un nepieciešamībai pēc resursu optimizācijas, rodas vajadzība izvērtēt tā piemērotību mūsu klimatiskajos un būvnormatīvu apstākļos. Šajā nodaļā analizēts kartona potenciāls – klimatiskā pielāgojamība, ieguvumi, salīdzinot kartonu ar jau izmantotajiem videi draudzīgiem materiāliem.

KLIMATA APSTĀKĻI UN BŪVNICĪBAS TIPOLOĢIJA

Latvijā ir mēreni kontinentāls klimats ar salīdzinoši augstu nokrišņu daudzumu un sezonālām temperatūras svārstībām. Šie apstākļi rada izaicinājumus kartonam kā higroskopskam materiālam – īpaši svarīga kļūst tā mitrumizturības nodrošināšana un atbilstošas konstrukcijas slāņošana. Ēkas, kuras veidotas ar *Bat'IPAC* ražotajiem kartona paneļiem, atrodas Elzasas, Bretaņas un Luāras reģionos, piemēram, Elzasas reģionā gada nokrišņu daudzums ir 800 mm (Heraux Bocquet, n.m.), un Latvijā tas ir 685,6 mm (Latvijas Vides, Ģeoloģijas un Meteoroloģijas Centrs, 2020).

Tipiskākās mājokļu būvniecības formas Latvijā ir masīvkoka, gāzbetona vai ķieģeļu ēkas. Tomēr pēdējos gados pieaug interese par modulārām un saliekamām konstrukcijām, kas padara kartonu konkurētspējīgāku – īpaši īslaicīgām vai pārvietojamām būvēm, kā arī kā iekšējo sienu risinājumu ar papildu aizsardzību pret mitrumu. Plašā koka konstrukciju izmantošana Latvijas arhitektūrā (Viļuma, 2020) noteikti varētu kalpot par pamatu arī kartona būvniecības attīstīšanai, gan materiālu pieejamības dēļ un izmantotā koka atkārtotas izmantošanas dēļ, kā arī, skatoties uz Francijas uzņēmuma *Bat'IPAC* pieredzi, koks var kalpot kā primārais nesošais elements ēkā un kartons kā norobežojošā un sekundārā nesošā konstrukcija.

Kā arī Latvijas būvniecībā ar vien nozīmīgākas kļūst prasības par “zaļo būvniecību”, piemēram, latviešu arhitekts Reinis Prēdelis uzsver: “BREEAM sertifikācija ir lielisks rīks, lai sekmētu zaļo būvniecību Latvijā. Tas veicina labākus

būvniecības standartus, resursu efektivitāti un mūsu vides aizsardzību” (Latvijas būvzinieku savienība, 2023). Kā rakstā apskatīts, kartons ir ilgtspējīgs, “zaļš” un ekoloģisks materiāls.

SALĪDZINĀJUMS AR CIETIEM LATVIJĀ IZMANTOTIEM ILGTSPĒJĪGIEM BŪVNICĪBAS MATERIĀLIEM

Lai izsvērtu reālas iespējas izmantot kartonu kā būvniecības materiālu Latvijas apstākļos, nepieciešams to salīdzināt ar jau plaši izmantotajiem materiāliem, tāpēc Latvijas Būvnormatīvā no LBN 002-19 “Ēku norobežojošo konstrukciju siltumtehnika” pieejamā informācija apkopota sekojošajā tabulā:

Nr. pk.	Materiāls	Blīvums ρ_0 (kg/m ³)	Siltumvadītspēja λ d W/(m × K)	Īpatnējā siltumietilpība c J/(kg × K)	Ūdens tvaika pretestības faktors μ
1.	Viendabīgs koks – priede	500	0,13	1610	40
2.	Dzelzsbetons	2500	2,0	840	100
3.	Gāzbetona bloki	375	0,09	1000	4-6
4.	Keramikas ķieģeļi	1800	0,81	880	10
5.	Akmens vate	15-200	0,037	1030	1
6.	Putupolistirols	10-50	0,04	1450	30-70
7.	Presētais kartons	1000	0,23	2300	97
8.	Gofrētais kartons	130	0,18	2300	11-24

Tabula 1. Būvniecības materiālu raksturlielumu salīdzinājums. (Tabulā apkopoti dati no LBN 002-19 “Ēku norobežojošo konstrukciju siltumtehnika”, Knaack et al., 2023 78.lpp 10.tabulas.)

Presētajam kartonam ir relatīvi augsts blīvums (1000 kg/m³), kas liecina par tā mehānisko izturību un piemērotību arī daļēji nesošām konstrukcijām. Gofrētais kartons savukārt ir ievērojami vieglāks (130 kg/m³), kas padara to piemērotu mobilām, īslaicīgām vai saliekamām būvēm, kur svara samazināšana ir kritiska. Siltumvadītspējas ziņā abi kartona veidi (0,18–0,23 W/m·K) pārspēj tādus tradicionālos materiālus kā dzelzsbetons (2,0 W/m·K) un keramikas ķieģeļi (0,81 W/m·K), tādējādi nodrošinot efektīvāku siltumizolāciju.

Īpaši izceļams ir kartona augstais īpatnējais siltumietilpības rādītājs (2300 J/kg·K), kas nozīmē labu spēju uzkrāt un saglabāt siltumenerģiju – īpašība, kas ir nozīmīga sezonāli mainīgos klimatiskos apstākļos, kādi raksturīgi Latvijai. Salīdzinājumam – koksnei šis rādītājs ir 1610 J/kg·K, bet gāzbetonam 1000 J/kg·K.

Ūdens tvaika pretestības faktors (μ) ir vēl viens būtisks rādītājs, kas nosaka materiāla tvaika caurlaidību. Presētais kartona μ vērtība (97) ir līdzīga dzelzsbetonam, norādot uz zemu gaisa caurlaidību, kas jāņem vērā, plānojot mitruma kontroles un ventilācijas risinājumus. Savukārt gofrētais kartons (ar μ no 11 līdz 24) ir elpojošāks un tādējādi potenciāli piemērotāks iekšējām konstrukcijām vai būvēm ar dabīgo ventilāciju.

Līdz ar to iespējams secināt, ka kartonam – gan presētā, gan gofrētā formā – piemīt īpašības, kas padara to piemērotu kā norobežojošo konstrukciju materiālu Latvijas klimatiskajos apstākļos. Tā augstā siltumietilpība, konkurētspējīgā

siltumvadītspēja un salīdzinoši zema masa (gofrētajam kartonam) paver iespējas to izmantot gan energoefektīvām, gan mobilām būvēm.

ĪSTERMIŅA UN MAZĀS FORMAS BŪVJU POTENCIĀLS LATVIJĀ

Lai gan celuloze kā materiāls nav svešs Latvijas būvniecībā, risinājumi, kuros dominē kartons, joprojām ir reti. Viens no aktuālākajiem piemēriem ir 2023. gada Latvijas izstāde Venēcijas biennālē, kur ilgtspējības un modularitātes nolūkos veikals “TC Latvia” tika veidots no kartona. Tomēr šādai izstāžu arhitektūrai nav jāatbilst tādām prasībām kā ilgstoša ekspluatācija, drošība, stabilitāte un ilgmūžība, kas ir būtiskas dzīvojamo un sabiedrisko ēku būvniecībā.

Tāpēc kartona kā galvenā būvmateriāla izmantošana plašākā mērogā Latvijas būvniecībā joprojām prasa rūpīgu tehnisko risinājumu izstrādi un normatīvu pielāgošanu. Vienlaikus būtisks izaicinājums ir panākt, lai kartons atbilstu Latvijas likumdošanas ugunsdrošības un būvnormatīvu prasībām, nezaudējot tā biodegradēšanās un pārstrādāšanas priekšrocības. Šim mērķim pastāv dažādi risinājumi, piemēram, pievienot papīra masai fosforu saturošas ķīmiskās vielas, kas uzlabo kartona ugunsizturību.

Latvijā darbojas vairāki kartona ražotāji, piemēram, SIA Skultes Kartons un SIA Baltkarts, kas ražo gofrēto un šūnu kartonu galvenokārt iepakojšanas vajadzībām. Tomēr šie materiāli var kalpot kā labs pamats īstermiņa ideju un eksperimentu īstenošanai.

Lai pilnvērtīgi izvērtētu kartona potenciālu Latvijas būvniecībā, nepieciešams praktiski izmēģināt šī materiāla pielietojumu vasaras skolu un citu darbnīcu formātā. Šādas praktiskas darbnīcas ļautu apvienot teorētiskās zināšanas ar reālu būvmateriāla izmantošanu, identificēt tehniskos izaicinājumus un izstrādāt risinājumus, kas piemēroti mūsu klimatiskajiem un normatīvajiem apstākļiem. Tikai caur aktīvu eksperimentēšanu un sadarbību varēs veidot ilgtspējīgus un inovācijām atvērtus risinājumus, kas sekmētu kartona kā būvmateriāla izmantošanas attīstību Latvijā.

SECINĀJUMI

Kartons kā būvmateriāls, pateicoties tā vieglumam, pārstrādājamībai, siltumizolācijas un pat akustiskajām īpašībām, piedāvā ilgtspējīgu alternatīvu tradicionālajiem būvniecības materiāliem. Pētījumi rāda, ka mūsdienīgi kartona kompozītmateriāli spēj konkurēt ne tikai energoefektivitātē un izmaksās, bet arī vides rādītājos, ievērojami samazinot ražošanas un dzīves cikla emisijas, salīdzinājumā ar ģipškartona vai minerālvates risinājumiem. Tāpat montāžas un demontāžas vienkāršība padara kartonu par efektīvu risinājumu īslaicīgām būvēm, iekšsienām vai pat pastāvīgām konstrukcijām, ja to kombinē ar citiem materiāliem, piemēram, koku.

Pasaules piemēri, kā arhitekta Šigeru Bana pieeja un Francijas uzņēmuma Bat'IPAC pieredze, apliecina, ka ar pārdomātu projektēšanu un atbilstošu kartona izmantošanu projekti, kuros kartons ir viens no būvmateriāliem, ir

realizējami un funkcionē. Tajā pašā laikā, kartona kā higroskopiska materiāla raksturs nozīmē, ka tam nepieciešama rūpīga aizsardzība pret mitrumu, kas īpaši aktuāla Latvijas klimatā.

Latvijā, kur pieaug interese par saliekamām un ilgtspējīgām būvēm, un, kur koka konstrukcijas jau ir cieši iesakņojušās būvniecības kultūrā, pastāv potenciāls paplašināt kartona izmantošanu, īpaši kā daļu no vieglām, pārstrādājamām sienu sistēmām. Turpmākie pētījumi un pilotprojekti Latvijas kontekstā palīdzētu ne vien pielāgot materiālu klimatiskajiem un normatīvajiem apstākļiem, bet arī izglītēt sabiedrību un nozares profesionāļus par tā iespējām.

Aslam, I. (2024, April 10). A low-cost sustainable housing solution for flood-hit areas. Dawn. <https://www.dawn.com/news/1826813>

Ayan, Ö. (2009). *Cardboard in architectural technology and structural engineering: a conceptual approach to cardboard buildings in architecture*. The Swiss Federal Institute of Technology in Zurich.

Crook, L. (2025, January 19). *Shigeru Ban's Cardboard Cathedral was the most significant building of 2013*. Dezeen. <https://www.dezeen.com/2025/01/19/shigeru-ban-cardboard-cathedral-21st-century-architecture/>

European Environment Agency. (2024). *Responding to climate change impacts on human health in Europe: focus on floods, droughts and water quality*. Publications Office of the European Union.

Fattahi, F. (2014). *PIPE pavilion - Khayam University temporary pavilion*. Architizer. <https://architizer.com/projects/pipe-pavilion-khayam-university-temporary-pavilion/>

HERAUX BOCQUET, J.-C. (n.d.). *Weather data sheets from Météo Alsace*. Météo Alsace. Retrieved May 27, 2025, from <https://meteoalsace.com/climat/les-fiches-climat.html>

Jasiolek, A., Latka, J. F., & Brzezicki, M. (2021). Comparative Analysis of Paper-based Building Envelopes for Semi-permanent Architecture: Original Proposals and Suggestions for Designers. *Journal of Facade Design and Engineering*, 9(2), 47–72. <https://doi.org/10.7480/JFDE.2021.2.5510>

Knaack, U., Bach, R., & Schabel, S. (2023). *Building with paper*. Brikhäuser.

Latka, J. (2017). *Paper in architecture Research by design, engineering and prototyping*. Delft University of Technology, Faculty of Architecture and the Built Environment, Department of Architectural Engineering + Technology. <https://doi.org/10.7480/abe.2017.19>

Material guy. (2005, January 7). The Guardian. <https://www.theguardian.com/artanddesign/2005/oct/31/architecture.france>

Noteikumi Par Latvijas Būvnormatīvu LBN 002-19 "Ēku No robežojamo Konstrukciju Siltumtehnika," Pub. L. No. Nr. 280, Ministru kabinets (2019).

Noteikumi Par Latvijas Būvnormatīvu LBN 201-15 “Būvju Ugunsdrošība,” Pub. L. No. Nr.333, Ministru kabinets (2015).

Paper Tea House. (2008). Shingeru Ban Architects. <https://shingerubanarchitects.com/works/exhibitions/paper-tea-house/>

Replay webinar Bat'IPAC. (2024, October 11). <https://youtu.be/9vma7Pm1EwE?si=HVKRJoxuZXHZVy6R>

Secchi, S., Asdrubali, F., Cellai, G., Nannipieri, E., Rotili, A., & Vannucchi, I. (2016). Experimental and environmental analysis of new sound-absorbing and insulating elements in recycled cardboard. *Journal of Building Engineering*, 5, 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2015.10.005>

Viļuma, A. (2020). *Koka konstrukcijas Latvijas būvmākslā* [Riga Technical University]. <https://doi.org/10.7250/9789934225734>

Zaļās būvniecības principi. (2023, June 6). Latvijas Būvinžiniešu Savienība.