

# POSLOVNA STAVBA EKO PRODUKT – ZGRAJENA IZ NARAVNIH MATERIALOV

Miro Škvorc, Eko produkt d.o.o.

## Povzetek

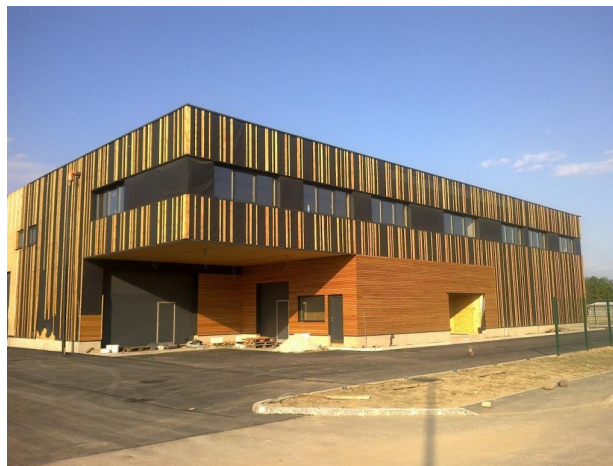
Podjetje EKO PRODUKT d.o.o. se z ekološko pasivno gradnjo ukvarja že 13 leto. Naravne materiale ne tržimo le zaradi zaslužka, temveč tudi zato, ker verjamemo, da je z njihovo uporabo možno zgraditi kvalitetne, cenovno ugodne in okolju prijazne stavbe, ki so hkrati tudi energijsko zelo učinkovite brez večjih dodatnih stroškov. Tako smo pri načrtovanju svoje poslovne stavbe primerjali različne načine gradnje od betonske, zidane, jeklene in lesene. Pri slednji smo primerjali različne načine lesenih izvedb, kot so skeletna in masivna lesena izvedba. Prav tako smo preučili kombinirane izvedbe, t.i. hibride, kjer smo kombinirali različne lesene izvedbe v kombinaciji z betonom in jeklom. Končna ugotovitev je bila, da se enostavne izvedbe, kjer ni posebnih statičnih in toplotnih zahtev, cenovno najbolj izplača graditi v skeletni betonski izvedbi s fasadnimi paneli iz pločevine. Ti materiali so kljub visokemu vložku primarne energije in zaenkrat še relativno nizki okoljski sprejemljivosti še vedno ekonomsko najbolj upravičeni. V kolikor pa je objekt statično bolj zahteven, hkrati pa imamo tudi višje zahteve po toplotni učinkovitosti, lesena stavba zelo hitro postane konkurenčna ali celo cenejša, saj imamo zaradi manjše teže zgradbe manj zemeljskih del, manj je betona in železa v temeljni plošči, nimamo nobenih stroškov z odpravljanjem toplotnih mostov, hkrati pa lahko s pametnim načrtovanjem strojnih inštalacij zmanjšamo investicijo v grelne in hladilne naprave tudi do 75%. Naravni materiali imajo bistveno daljši fazni zamik prehoda toplote, ne kondenzirajo in pripomorejo k boljši mikro klimi v prostoru. Tako pri enaki U vrednosti z uporabo naravnih materialov porabimo kar za 25% manj energije za ogrevanje in hlajenje (neodvisne študije).

## UVOD

Zaposleni v Eko produktu smo se odločili, da za primerljivo ceno raje zgradimo poslovne prostore iz naravnih materialov, saj se zavedamo, da materiali, ki nas obdajajo vplivajo tudi na naše zdravje. Glede na to, da smo vsaj tretjino dneva v službi želimo bivati v čim bolj zdravih prostorih. Les je material, ki odlično sprejema in oddaja vodno paro, pripomore k ustvarjanju ugodne mikro klime in zelo počasi prepušča toploto. Ker masiven les ni najboljši toplotni izolator, smo lesene masivne križno lepljene stene na zunanji strani še dodatno toplotno izolirali z naravnimi materiali iz celuloze in lesnih vlaken. Pri gradnji smo uporabili le kvaliteten certificiran les, sušen in obdelan v skladu z veljavnimi standardi, zato ga ni bilo potrebno dodatno ščititi pred lesnimi škodljivci. Kljub temu, da les sodi med gorljive materiale, gori relativno počasi, do 2 cm na uro. Glede na to, da je odzivni čas gasilcev le 10-15 minut, lahko v primeru hitrega in uspešnega odziva realno pričakujemo le manjše in neproblematične poškodbe na objektu. V primeru večjega požara pa upamo, da bo za gasilce gašenje lesenega objekta bolj predvidljivo, strošek odstranitve pogorišča pa mnogo cenejši. Nekoliko bolj problematična je jeklena konstrukcija v skladiščnem delu objekta, ki smo jo uporabili namesto lesa zaradi manjših presekov pri enaki nosilnosti, zato jo je bilo potrebno dodatno zaščititi z negorljivimi materiali.

## OSNOVNI PODATKI OBJEKTA

Poslovna cona Komenda se nahaja med Vodiciami in Komendo v kraju Žeje. Velikost cone je 930.000 m<sup>2</sup> in je od Ljubljane oddaljena 14 km. Zemljišče se nahaja v vzhodnem delu cone in je veliko 2500m<sup>2</sup>. Objekt je velikosti 34x34m. Sestavljata ga dva sklopa in sicer hladno skladišče velikosti 34x26m in toplo skladišče s pisarno za skladiščnike v velikosti 26x8m. Nad toplim skladiščem so pisarniški prostori velikosti 34x8m s previsnim delom, ki je hkrati tudi nadstrešek



pri izdaji blaga v velikosti 8x8m. Trenutna višina objekta je 8,5m, vendar je možna nadgradnja še dveh etaž. Ravno previsni del je bil velik izziv za statika, saj nismo želeli imeti podpornega stebra. Da bi bila naloga še težja je bilo potrebno pri izračunih statike in izbiri konstrukcijskega materiala upoštevati tudi dejstvo, da bo možno v prihodnosti objekt nadgraditi še z dvema etažama, dodatna zahteva pa je bila tudi večja nosilnost tal v naslednji etaži in sicer namesto 300 kar 600 kg/m<sup>2</sup>.

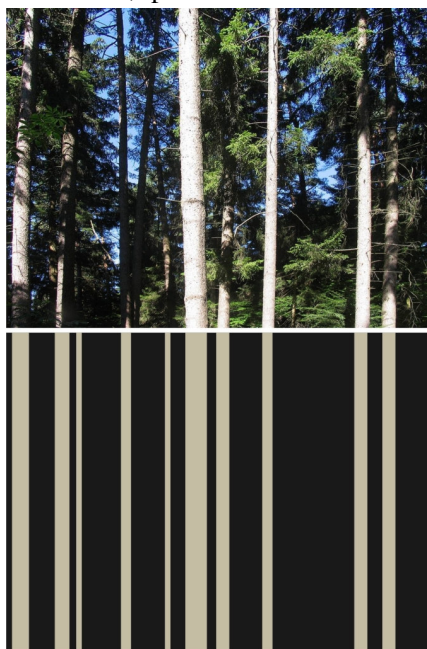
### **ARHITEKTURNA IN TEHNIČNA ZASNOVA**

Arhitekturna zasnova objekta je dokaj enostavna, predvsem zaradi strogih določil iz Odloka o lokacijskem načrtu in pa zaradi funkcije objekta, ki je v večji meri namenjeno skladiščenju. V okviru teh določil je bilo potrebno oblikovati objekt, ki bo funkcionalno kar najbolj ustrežal investitorju oz. poslovni dejavnosti podjetja. V ta namen je tudi predvidena etapna gradnja v dveh ali celo treh etapah. Tlorisno je objekt kvadratne oblike 34x34m z manjšim izsekom v zahodnem vogalu. Izsek se po vertikali zaključuje na višini 4m in se nadaljuje z medetažo. Zgrajeni del objekta predstavlja 1.fazo izgradnje do višine 8,5m. Predvideni sta še dve etaži poslovnih prostorov do skupne višine 14 m. Objekt je po stavbnih masah prilagojen primarni in sekundarni funkciji. Primarni del objekta obsega neogrevano paletno skladišče z manipulacijskima vhodoma oz. izhodoma za dobavo in izdajo skladiščenega materiala. Večja rolo vrata na SZ strani so namenjena polnjenju skladišča, manjša pod previsom pa izdaji materiala, s čimer se obe funkciji lahko vršita hkrati. Tukaj se tudi nahaja vhod v manjše ogrevano skladišče, za skladiščenje toplotno občutljivih materialov in pisarna z garderobo in sanitarijami za skladiščnike. Vhod v poslovni del je na sredini JZ fasade, kjer preko stopnišča ali dvigala pridemo v medetažo (sekundarni del), ki se nahaja nad toplim delom skladišča. V medetaži so pisarniški prostori in manjša dvorana za cca. 20 oseb vključno s sanitarijami in čajno kuhinjo. Oblikovno je objekt enostavnih ortogonalnih oblik, saj se fasada zaključuje z ravno atiko, ki skriva dvokapno streho z minimalnim naklonom. Zaključni sloj fasade je v večji meri črne grafitne barve (fasadna folija), neenakomerno deljene z vertikalnimi lesenimi letvami različnih širin. Na skladiščnem delu je fasada enostavna, podrejena funkciji objekta. Poleg manjših oken, ki zagotavljajo minimalno osvetlitev skladišča je večji oblikovni element le nadstrešek nad glavnim vhodom v skladišče na SZ strani. Na poslovnem delu je v višini medetaže okenski niz povezan v linijo obdelano z lesom v naravni barvi. Lesena fasada se pojavi tudi pod previsom in se nadaljuje do glavnega vhoda v poslovne prostore. Ta vhod je tudi zaščiten s steklenim nadstreškom v dolžini 7m, ki poudari horizontalno linijo lesene fasade.

### **OBLIKOVNI KONCEPT ZUNANJE PODOBE OBJEKTA**

Dinamika pridobivanja gradbenega dovoljenja je botrovala k dobrim, predvsem funkcionalnim rešitvam, medtem ko je zunanja podoba obstala na nivoju enotne fasadne površine, posejane z danimi odprtlinami. V risbi je objekt deloval premalo ambiciozno in povsem brez identitete. Glede na splošno dejstvo, da objekti komunicirajo z okolico predvsem preko fasadnega ovoja, ja bilo določeno, da se problematiko reši z dodatnim načrtom obdelave fasadnih površin. Glavno vodilo je bilo, da naj stavba s svojo podobo jasno izraža pripadnost uporabniku in dejavnosti, ki se v njej vrši, snovanje koncepta pa je potekalo na nivoju oblikovanja, funkcionalnosti in ekonomike.

Oblikovalski koncept je vezan na analogijo poslanstva podjetja. Ponudba zajema materiale za ekološko gradnjo, ki izvirajo iz naravnih surovin, predvsem lesa. Tako je bila za oblikovalsko izhodišče izbrana podoba smrekovega gozda kot vir osnovnega gradnika ekoloških materialov, z njim pa je obdana tudi sama lokacija. Pogled na osončen začetek smrekovega gozda razkriva pokončna debla v svetlejših tonih in različnih debelinah, obdana s temnejšimi zasenčenimi krošnjami. Abstraktna podoba pogleda nam kot grafični element ponudi nepravilen vertikalni raster različno debelih linij v svetlejšem tonu na temni podlagi, kar je bilo v



ustreznem razmerju in materialu prenešeno na fasadno površino. Fasadni ovoj je v celoti obdelan s temno zaščitno UV obstojno fasadno folijo, ki je pritrjena z vertikalnim rastrom različno širokih macesnovih desk. Poleg tega se objekt uredi tudi s tem, da se okenske odprtine poslovnega dela povzame v zaključeno potezo. Dana dispozicija oken se s poudarjeno leseno špaletto prikaže kot enoten fasadni element in ne kot skupek nepovezanih odprtin. Obratno je z okenskimi odprtinami skladišča, ki so manjša in vizualno nepomembna. Ta ostajajo neobdelana in zlita znotraj vertikalnega rastra macesnovih desk. K leseni špaletti je dodan še en fasadni element, ki pomaga omiliti uniformnost kontinuirnega vertikalnega vzorca in hkrati usmerja. Z njim se obdela vhodni del frontalne fasade. Uporabi se horizontalno orientirano lamelno leseno fasado z majhnimi distancami med lamelami. Tako se doseže kontrastno območje fasadnega ovoja, ki jasno nakazuje vhod v poslovni del objekta. Celotna površina je precej homogena in definirana le s strukturo lesa in temnim tonom fasadne folije in okenskih površin. Dodaten akcent se skuša ustvariti z elementi označevanja (logotipi, napisi, zastave ipd.).

Funkcionalni pristop je bil upoštevan predvsem kot prezentacija in testiranje materialov podjetja na sami fasadi objekta. Skozi čas se bo ta del nadgrajeval, hkrati pa bo dajal rezultate o delovanju vgrajenih elementov. Glede na to, da gre za prototip fasade bo čas pokazal, kje se pojavljajo kritični deli. Različne distance vertikalnih letev bodo pokazale, do katere dimenzije je raztezek folije še zanemarljiv. Pokazalo se bo tudi, kakšen vpliv ima voda, ki zaide med letev in folijo, saj je bilo pritrjevanje rešeno na način, ki omogoča sušenje.

Pri snovanju fasadne obdelave je bila kot vodilo prisotna tudi ekonomika. Misel je bila, da bi se razvil ekonomičen način obdelave fasadnih površin, ki bi se lahko predvsem na področju enodružinskih hiš ponujal kot alternativni sistem. Groba ocena je pokazala, da bi lahko taka obdelava dosegla tudi do polovice nižje stroške kot pri klasičnih fasadnih sistemih.

## **ENERGIJSKA UČINKOVITOST OBJEKTA**

Sama lega zemljišča je SV-JZ, zato smo pisarniški del in toplo skladišče umestili na JZ stran in ga še dodatno izolirali s 24 cm toplotne izolacije, kljub temu, da je masivna lesena stena toplega skladišča debela 12 cm, v pisarniškem delu pa kar 20 cm. Prav tako smo dodatno izolirali predelno steno med toplim in hladnim skladiščem, kjer smo na 8 cm debelo masivno leseno steno dodali še 18 cm celulozne izolacije. Streha bo nad pisarnami izolirana s 40 cm celulozne izolacije Trendisol, nad hladnim skladiščem pa z 20 cm Trendisol izolacije, saj ima hladno skladišče tudi manj izolacije na fasadi in sicer na 10 cm debeli leseni steni le 6 cm debelo lesno vlakneno ploščo Agepan. Temeljna plošča je v predelu hladnega skladišča izolirana z 10 cm XPS izolacije, v toplim skladišču pa z 15 cm enake izolacije. Okna v pisarniškem delu so v Alu les izvedbi proizvajalca Internorm z  $U < 0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$  primerna za vgradnjo v pasivne hiše. Prav tako imata enako U vrednost tudi okno in vrata v pisarni skladiščnika. Enako U vrednost imajo tudi glavna vhodna vrata v poslovni del objekta le, da so v celoti lesena z dodano stekleno oblogo na zunanji strani. Odločili smo se za slovenskega proizvajalca Doors, saj Internorm ni mogel izdelati vhodnih vrat, ki bi se odpirala navzven, kar je bila zahteva požarnega elaborata. Skupna potreba po toploti za ogrevanje je izračunana le za topli del objekta in znaša 7900 kWh letno oz.  $20 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ . Ogrevanje ali hlajenje v hladnem skladišču ni predvideno. Skupni toplotni pritoki znašajo 12400 kWh, od tega notranji viri 7300 kWh in so skoraj enaki toplotnim izgubam. Ta podatek je bil bistven element pri načrtovanju strojnih inštalacij, saj smo dali večji poudarek hlajenju kot ogrevanju. V kolikor bi objekt gradili »klasično« bi bile potrebe po ogrevanju in hlajenju približno 3x večje, povečali bi se sončni dobitki, saj bi vgradili tudi slabša okna. Sedaj dobitki zaradi sončnega sevanja znašajo le 5100 kWh, zato imamo manjšo potrebo po hlajenju. Skupne toplotne izgube v stavbi znašajo 20300 kWh. Zaradi manjše potrebe po ogrevanju in hlajenju



je potrebna tudi manjša moc električnih varovalk, to pa v praksi pomeni tudi manjši mesečni strošek za elektriko. Zaradi majhne potrebe po električni energiji že razmišljamo, da bi na strehi objekta zgradili manjšo FV elektrarno moči 7-10kW. Tako bi s sofinancirano odkupno ceno elektrike pokrili celotne stroške obratovanja stavbe.

Da bo stvar delovala vemo že sedaj, saj smo že leta 2002 v pasivnem standardu adaptirali poslovne prostore v katerih še trenutno delujemo in v njih že takrat nismo vgradili nobenega klasičnega sistema za ogrevanje. Namesto tega smo raje investirali v kvalitetno toplotno izolacijo brez toplotnih mostov, saj je investicija primerljiva oz. dosti cenejša v kolikor upoštevamo tudi mesečne stroške za energijo. Ker nameravamo v prihodnosti stavbo še nadgraditi smo ugotovili, da bi bila investicija v dodatni sloj toplotne izolacije, ki bi zmanjšal potrebno letno toploto za ogrevanje na 15 kWh nesmiseln, še posebej zato, ker se bo z nadgradnjo bistveno povečal volumen ogrevanih prostorov, zaradi česar bo pri enako grajenih obodnih površinah kasneje letna potreba po toploti za ogrevanje padla na 25500 kWh oziroma na 12 kWh/m<sup>2</sup>a. Tako bodo toplotne izgube znašale 86100 kWh, ter toplotni dobitki 60600 kWh (od tega 24700 kWh dobitki zaradi sončnega sevanja ter 35900 kWh od notranjih dobitkov toplote).

## **STROJNE INŠTALACIJE**

Projektiranje strojnih instalacij za objekt Eko produkt je bila svojevrstna posebnost. Naročnik je ekspert na področju pasivne gradnje in zelo dobro pozna ogrevalne in hladilne sisteme za pasivno gradnjo, zato so bile projektne zahteve že od samega začetka zelo jasne in se tudi kasneje niso spreminjale, temeljile pa so na naslednjih predpostavkah:

- vsi pisarniški prostori se hladijo in ogrevajo, toplo skladišče pa le ogreva
- vse pisarniške prostore je potrebno prezračevati z učinkovitim sistemom vračanja toplote
- zasnova strojnih instalacij mora biti cenovno racionalna in optimalna

Investitor je sam izdelal več preračunov po PHPP metodologiji, kjer je preigral različne možnosti katere izolacijske materiale je najbolj smiselno uporabiti ter v kakšni debelini. V tem primeru je manipuliral med investicijskimi in obratovalnimi stroški, ki so potrebni za zagotovitev energije za potrebe ogrevanja, hlajenja in prezračevanja. Na voljo smo imeli tudi zemeljski plin, ki je bil že na parceli. Dokaj hitro smo oblikovali dva cenovno ugodna koncepta, ki sta ustrezala zahtevam investitorja:

### **1. KONCEPT:**

- uporaba kondenzacijskega plinskega kotla za proizvodnjo potrebne toplote za ogrevanje prostorov in tople sanitarne vode, ogrevanje in hlajenje s konvektorji, kjer hlad proizvajamo s hladilnim agregatom in prezračevanje z rekuperacijo

### **2. KONCEPT**

- uporaba toplotne črpalke za ogrevanje in hlajenje in prezračevanje z rekuperacijo

Sprva smo razmišljali klasično, kot pri projektiranju ostalih objektov a smo hitro ugotovili, da je prva varianta bolj primerna za slabše izoliran objekt, ki potrebuje večje moči, lahko pa bo ta sistem prava izbira kasneje pri nadgradnji objekta, zato smo plin kot opcijo še vedno pustili odprto za kasneje. Pri nadaljnjem iskanju smo preverili kar nekaj možnosti. Investitor je zagovarjal kvalitetno napravo in cena ni bila na prvem mestu. Iskali smo rešitev, ki bo v dani situaciji optimalna glede na kvaliteto, ceno in izkoristke, zato smo preverili naslednje možnosti:

- Toplotna črpalka z geosondo je odpadla takoj. Cena geosonde je previsoka. Problem pa predstavlja tudi uporaba geosonde v sistemu s hlajenjem, ker imamo omejene kapacitete.
- Toplotne črpalke z zemeljskim kolektorjem nismo mogli uporabiti, ker nismo imeli ustreznih površin.
- Toplotna črpalka s talno vodo je bila ustrezna. Problem pa je predstavljal ustanova ARSO, saj nismo mogli predvideti za koliko casa se bo zavleklo izdajanje gradbenih dovoljenj ob uporabi talne vode.
- Toplotna črpalka zrak-zrak je imela hibo, da neha delovati pri temperaturi pod -20stC, kar pa v tem primeru ni bila težava, saj so potrebe po toploti izjemno nizke, zato tudi nekoliko slabše grelno število pri tako dobro izoliranemu objektu ne odigra odločilne vloge.

Tako se je izoblikovala odločitev o izvedbi toplotne črpalke zrak-zrak, saj je ta sistem tudi cenovno zelo ugoden. S tem smo opravičili tudi nekoliko višjo investicijo v toplotno izolacijo. Še vedno pa smo tehtali med uporabo klasičnih split sistemov, o uporabi dvojčkov, trojčkov in o uporabi enocevni multi split sistemov. Kalkulacija je pokazala da je enocevni sistem ugoden. Tako smo se odločili za zunanjo enoto Mitsubishi Electric PUHY-P200YHM-A ter ustrezne notranje enote za vsako pisarno. Ta enota omogoča ogrevanje tudi pri zunanji temperaturi -20stC. Za prezračevanje smo izbrali enoto Mitsubishi Electric LGH 150. Izbrali smo jo zaradi kompaktne izvedbe in ugodne cene. Naprava bo večino časa obratovala na srednji obremenitvi. Prezračevanje je zasnovano tako, da v posamezne pisarne zrak dovajamo, odvajamo pa ga iz sanitarij in hodnikov. Razvod prezračevanja je iz spiro cevi. Sanitarije so v sredini objekta in imajo zelo malo toplotnih izgub, zato smo se odločili, da jih bomo ogrevali kar z električnimi radiatorji. Za optimalno delovanje bodo skrbeli časovni termostati, ki bodo preprečili ogrevanje v nočnem času. Na enak način se bo pripravljala tudi sanitarna topla voda v električnem bojlerju. Kljub nekaterim pomislekom se je na koncu ta odločitev izkazala kot optimalna izbira, saj se bo topla voda uporabljala le za umivanje rok in za čiščenje prostorov.

### STATIČNA ZASNOVA

Zasnova poslovno skladiščnega objekta Eko produkt se je začela v okviru projektne naloge na idejni ravni, kjer smo v okviru projektantskega tima postavili izhodišča za zasnovo stavbe in s tem konstrukcijskega sistema. Na nivoju idejne zasnove stavbe so bile izvedene finančne primerjave med različnimi konstrukcijskimi sistemi, kot so npr. prefabricirani armirano-betonski sistemi, jekleni sistemi in različni leseni sistemi. Vsekakor so se prefabricirani sistemi gradnje v AB konstrukciji in jeklu izkazali kot cenovno najcenejša varianta, a le na prvi pogled, saj v najnižjem cenovnem rangi niso dopuščali fleksibilnosti v arhitekturni zasnovi in s tem pri uporabnosti ter izkoriščenosti objekta. Ker so bile naročnikove želje glede uporabnosti objekta zelo jasno zastavljene in ker si je želel sodobno arhitekturo, ki se razlikuje od tipskih industrijskih objektov klasične gradnje, smo zastavili konstrukcijo glede na arhitekturna izhodišča, hkrati pa smo upoštevali vse zahteve po uporabnosti prostorov. Projektna naloga je bila zastavljena tako, da je možno objekt izvesti v dveh ali treh fazah in da se lahko dvoetažna konstrukcija objekta enostavno nadgradi še za dve etaži. Hkrati je bila izražena želja, da se pri nadgradnji hladnega skladišča lahko uporabi tudi zgornja etaža (to je trenutno streha skladišča) za skladiščenje materiala, kar je pomenilo pri dokaj velikih razponih še dodatno obtežbo. Zaradi transportnih poti je bila želja, da je sprednji prometno pretočni del objekta brez podpor, to pa je pomenilo, da je sprednji del objekta v vogalu v celoti v previsu preko 8 metrov. Na ta previs pa naj bi bilo ob upoštevanju izhodišč naše zasnove možno postaviti še dve etaži (!). Hkrati je bila omejitev pri zasnovi objekta tudi ta, da so tla na tem področju zelo slabo nosilna, saj so na tej lokaciji vsi okoliški objekti izvedeni v klasični gradnji tudi pilotirani.

V skladu z vsemi postavljenimi izhodišči smo zastavili projekt, v katerem smo želeli izvesti objekt z zeleno arhitekturo, z možnostjo čim bolj enostavne več fazne izvedbe oz. kasnejše nadgradnje še za dve etaži, brez globokega temeljenja na pilotih, kar bi precej povečalo strošek izvedbe, z možnostjo uporabe skladišča na nivoju 3. etaže. Glede na dana izhodišča je klasična gradnja odpadla predvsem zaradi temeljenja in 8 metrskega previsa, pa tudi ekonomsko takšen sistem gradnje ni bil več cenovno ugoden. Hkrati bi tak način gradnje zahteval mnogo najdaljši čas izvedbe in zelo slabe toplotne karakteristike stavbe. Tudi jeklena izvedba ni bila nič manj ekonomična predvsem zaradi obložnih panelov, ki zapirajo prostorsko jekleno konstrukcijo, saj lahko pride pri izven standardnih rešitvah do problemov pri izvedbi ovoja stavbe predvsem na področju kvalitete detajlov in s tem toplotnih mostov ter odvodnjavanju meteorne vode.



Želja investitorja, da bi se statično in tehnološko pregledale tudi možnosti lesene izvedbe se je v tem primeru izkazala za zelo utemeljeno. Preverili smo različne načine lesenih izvedb od palične, okvirne, skeletne in masivne. Glede na analizo stroškov posameznih variant, smo se odločili, da v glavnem delu skladišča, zaradi velikih obtežb, ki se stekajo iz nadgradnje dodatnih dveh etaž, namestimo tri jeklene pol okvirje, kjer so zaključni stebri okvirja leseni stebri v »jambo« leseni okvirni steni. Ta je namesto z OSB ploščami zavetrovana z »jambo« križno lepljenimi ploščami debeline 83mm. Na ta način smo ustvarili hibridno konstrukcijo, kjer so jekleni pol okvirji prevzeli vertikalno obtežbo, nad skladiščem, leseni ovoj izdelan v obliki »jambo« lesenega okvirnega sistema pa s pomočjo križno lepljenih plošč zavetruje objekt. Hkrati ovoj iz XLam plošč preko povezav z glavnimi lesenimi stebri obodnega okvirja prerazporedi lokalne napetosti na rob temeljne



AB plošče, ki je izdelana zaradi velikih prebojnih sil v debelini 50cm na XPS izolaciji brez kakršnih koli pilotov. Glede na to, da smo potrebovali učinkovito zavetrovanje plošče nad hladnim skladiščem, ki na nivoju 3. etaže poveže vse jeklene pol okvirje in zunanje obodne »jambo« lesene okvirne stene z obložnimi XLam ploščami, smo diafragma izvedli z lesenimi rebri višine 60cm, ki so se sidrali v pasnice jeklenih profilov, preko celotne branaste konstrukcije, sestavljene iz jeklenih HEB profilov in v pravokotni smeri vstavljenih lesenih reber, pa so bile zlepljene in dodatno mehansko pritrjene XLam plošče debeline 83mm. Na tak način smo ustvarili efekt škatle, ki lahko prevzame vso predvideno potresno in vetrno obtežbo v primeru upoštevanja nadgradnje in uporabe skladišča na nivoju 3. etaže. Poslovni del objekta je bil zasnovan in izveden v celoti iz XLam plošč različnih debelin, ravno tako stopnišče in jašek za dvigalo. Večji razponi v poslovnem delu so se zaradi racionalizacije pri uporabi materiala izvedli kot rebričasti strop z uporabo tanke XLam plošče in lesenih reber na spodnji strani. Konzolni previs je bil zasnovan v obliki stenastih nosilcev z odprtini (vratne in okenske odprtine v 2. etaži), zaradi katerih je bila osrednja stena ojačana z jeklenimi kotnimi elementi na zgornjem in spodnjem robu. Podporni elementi nosilnih sten konzolnega previsa so bili izvedeni iz ustreznih jeklenih stebrov z ustrezno razširjenimi jeklenimi U ležišči. Dvižne sile na koncu konzolnih sten so bile sidrane preko XLam sten, ki v tem delu tečejo preko dveh etaž. Na ta način smo ustvarili optimalno hibridno leseno konstrukcijo, ki se večinoma sestoji iz XLam plošč minimalnih debelin, ki ustvarijo škatlast efekt objekta, večje obtežne tokove po konstrukciji pa smo pokrili z lesenimi masivnimi stebri, jeklenimi stebri in jeklenimi HEB profili preko razponov v glavnem skladišču. S takšno konstrukcijsko zasnovo smo glede na dana izhodišča izvedli optimalno in najbolj cenovno ugodno konstrukcijo.

Poslovno skladiščni objekt Eko produkt je trenutno največja projektirana lesena zgradba v Sloveniji, ki se izvaja v dveh fazah. Prva faza je bila izvedena avgusta 2010 in predstavlja objekt tlorisne površine 1156m<sup>2</sup> tlorisne in višine 7,5m, kar predstavlja prostornino okoli 8700m<sup>3</sup>. Objekt ima v poslovnem delu konzolni previs preko 8 m, kar predstavlja še dodatni dosežek pri konstruiranju z lesom. Nad izvedeno prvo fazo objekta bo nadgradnja dveh poslovnih etaž (z možnostjo uporabe spodnje v skladiščne namene), do skupne višine 14m, kar predstavlja objekt skupne površine 3740m<sup>2</sup> in prostornine 16.200m<sup>3</sup>.

## IZVEDBA

Z izgradnjo smo pričeli v začetku julija 2010. Ker smo preigrali kar nekaj različnih možnosti izvedbe je bila investicija v zemeljska in gradbena dela relativno nizka, saj izkopa zemljine skoraj ni bilo, tampon pa je bil kljub slabemu terenu visok le 60 cm. Na pripravljeno podlago smo dodali 10 cm toplotne izolacije ter vse skupaj prekrili z hidroizolacijsko membrano na osnovi ilovice, ki naredi za vodo neprodušno plast šele takrat, ko pride ilovica v stik z vodo. Detajli pri tej izvedbi so zelo enostavni, saj ni varjenja, folija se le prekrije. Da membrana tudi dejansko zelo dobro tesni, smo se lahko prepričali po končani izvedbi, ko meteorna voda v jašku za dvigalo nikakor ni hotela odteci.

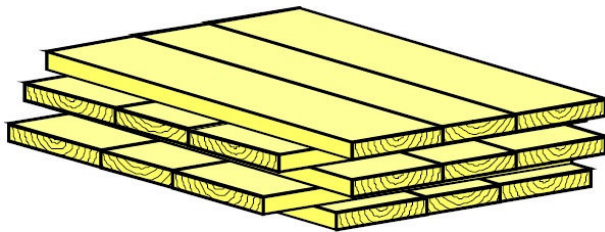


Na pripravljeno podlago se je izvedla 50 cm debela AB plošča. Izvedba je bila kar zahtevna, saj je bilo potrebno zaradi ekstremno visokih dnevnih temperatur v času gradnje, preko noči vgraditi 578m<sup>3</sup> betona, vključno z izdelavo quarc finalnega tlaka.

V začetku avgusta se je pričela izvedba jeklene konstrukcije in lesenega dela iz križno lepljenih plošč. Konstrukcijski elementi iz križno lepljenega lesa so sodobno kompozitno gradivo, ki imajo bolj

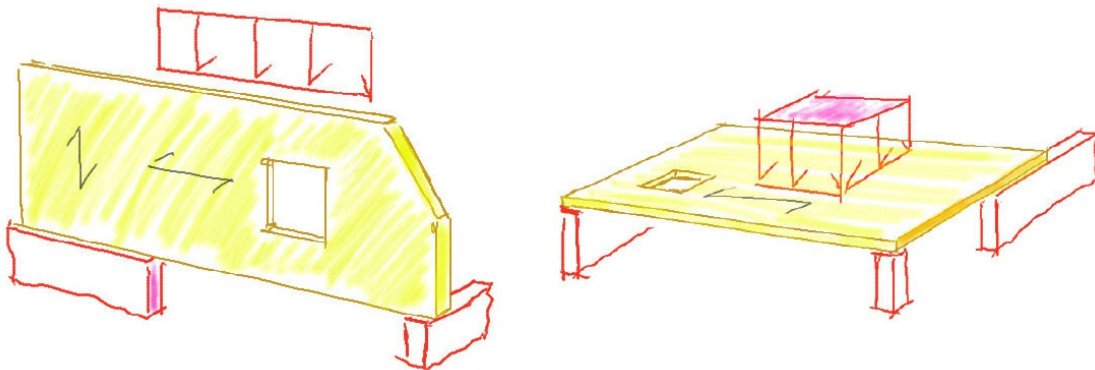


enakomerne in boljše mehanske ter deformacijske lastnosti kot konstrukcijski elementi iz masivnega in enosmerno lepljenega lesa predvsem v smeri pravokotno na vlakna lesa. Križno lepljene elemente sestavljajo križno zložene lesene lamele oziroma deske, ki so pod visokim pritiskom ploskovno zlepljene v večji masivni element. Za osnovno surovino se najpogosteje uporablja les iglavcev, ki je tehnično posušen do 12% ( $\pm 2\%$ ) vlažnosti, s čimer je omogočena naravna zaščita lesa pred škodljivci kot so glive, insekti in plesni. Odvisno od vrste uporabe in zahtev po nosilnosti so plošče izdelane v lihem številu slojev – 3, 5, 7 ali več, vse do maksimalne debeline 60 cm. Medsebojna orientiranost lamel v posameznih slojih znaša 90°, prečni prerez plošče pa je simetričen.



Lamele so križno zlepljene v konstrukcijski element – leseno vezano ploščo («jumbo plywood»).

Križno lepljenje omogoča obojesmerno nosilnost lesenih ploskovnih elementov, povečuje nosilnost in preprečuje cepitev v smeri pravokotno na vlakna lesa, poleg tega pa zagotavlja dimenzijsko stabilnost plošč, kar pomeni, da je delovanje lesa (krčenje, nabrekanje) zmanjšano na zanemarljivo vrednost. Tako so deformacije v ravnini XL lesene plošče dejansko zanemarljive, medtem ko pravokotno na ravnino plošče znašajo približno 2,4mm/m za vsak % spremembe vlažnosti lesa. Zaradi križno orientiranih lamel lahko elementi obtežbo prenašajo v dveh pravokotnih smereh, kar omogoča njihovo uporabo tako za stenske kot za stropne elemente, primarna smer prenosa obtežbe pa ustreza orientaciji vlaken zunanjih plasti desk, kar je shematično prikazano na sliki spodaj. Paneli lahko dosegajo dimenzije, ki so primerne tudi za gradnjo etažnih sten v enem kosu s predhodno izrezanimi odprtinami in pripravljenimi površinami za stikovanje, največje dolžine elementov pa so prilagojene transportu.



Raznos vertikalne obtežbe v ravnini stene (levo) in raznos vertikalne obtežbe v ravnini plošče (desno); vir: KLH Massivholz, 2001.

Z ustrezno povezavo elementov v celotno konstrukcijo lahko dosežemo, da plošče, ki se uporabljajo za stenske elemente, prevzamejo veliko vodoravno obtežbo tako v ravnini stene kot pravokotno nanjo. S primerno arhitekturno in statično zasnovo objekta, ustrezno nosilnostjo XLam panelov ter primerno izvedbo stikov med stenami in ploščami lahko torej zagotovimo odlično odpornost konstrukcije iz križno lepljenih plošč tudi na delovanje vodoravnih obtežb kot sta veter in potres.

## ZAKLJUČEK

Z izgradnjo poslovne stavbe Eko produkt smo dokazali, da je možno za solidno ceno 642€/m<sup>2</sup> (zajeti vsi stroški investicije od soglasij, projektov, izvedbe, opreme prostorov, itd.), zgraditi poslovni objekt z minimalnim ogljičnim odtisom in v skladu s trajnostnim razvojem. Slovenski javnosti in še posebej gradbeni stroki smo želeli pokazati, da je možno tudi z lesom graditi statično zelo zahtevne objekte po konkurenčnih cenah. Z gradnjo v pasivnem standardu in uporabo naravnih izolacijskih materialov ne bomo varčevali le pri mesečnih stroških ogrevanja in hlajenja, temveč v celotnem ciklu od proizvodnje do odstranitve. Z dodatno investicijo v FV elektrarno, ki znaša le 28€/m<sup>2</sup> pa lahko objekt postane tudi energijsko samozadosten.

### Viri:

- Arhitekturna in tehnična zasnova – Peter Pavšič udia, Petrus design
- Oblikovni koncept zunanje podobe objekta – Matjaž Križman udia, Arhitekturni Studio Krizzman
- Energijska učinkovitost objekta – Jana Mlakar udb, Eko produkt
- Strojne inštalacije – Janez Šlibar udis, Hermes projektiva
- Statična zasnova – dr. Bruno Dujič udig, CBD

### Zahvala:

Raziskovalno delo dr. Bruna Dujiča in investicija poslovne stavbe Eko produkt – Center za ekološko gradnjo, je delno sofinancirano s strani Evropske unije.

**Tehnični podatki:**

- Gabarit pritličja tlorisno 34x34m z izsekom 8x8m
- Gabarit medetaže: 8,0 x 34,0m
- Kota pritličja: ±0.00m
- Kota medetaže: +4.20m
- Višina venca objekta od gotovega tlaka: +8.50m (predvidena končna višina +14.00m)
- Svetla višina pritličja (hladno skladišče) 6.75m
- Svetla višina pritličja (toplo skladišče) 3.75m
- Svetla višina medetaže 3.05 m
- Temelji: glede na pogoje temeljenja je izdelana AB temeljna plošča, deb. 50cm, ki bo v skladišču hkrati tudi povozna površina zaključena z obrabnim slojem.
- Nosilna konstrukcija je večinoma lesena iz križno lepljenih masivnih plošč, v hladnem skladišču jekleni HEB stebri in horizontalne povezave, ki so protipožarno zaščiteni.
- Stropna konstrukcija je iz lesnih križno lepljenih masivnih plošč in lepljenih lesenih nosilcev v kombinaciji z jeklenimi HEB nosilci.
- Stopnišče je izvedeno v jekleni konstrukciji, ki je obdana z negorljivimi oblogami.
- Horizontalne komunikacije so hodniki, ki funkcionalno povezujejo posamezne sklope objekta.
- Vertikalna komunikacija je stopnišče z dvigalom.
- Objekt bo ogrevan in hlajen s kombinirano hladilno-ogrevalno klimatsko enoto z rekuperatorjem, z ločenim režimom za posamezne funkcionalne sklope. Zaradi predvidene majhne porabe se sanitarna voda ogreva z električnimi hranilniki vode, ki so racionalno razporejeni v sanitarnih prostorih. Ker je v Poslovni coni Komenda predviden plinovod je pripravljen tudi plinski priključek na objekt (plinska požarna pipa v omarici na objektu).
- Vsi prostori se prezračujejo naravno preko oken in prisilno s sistemom prezračevanja, ki je vezan na rekuperator.
- Objekt bo priključen na javno električno, telefonsko in CATV omrežje. Predvidena potrebna priključna moč je 1x3x100A. 66kW, 400V
- Objekt bo priključen na javno kanalizacijsko omrežje. Fekalna kanalizacija se že v objektu združi v en vod, katerega se nadgrajuje v skladu s fazno gradnjo objekta. Točen potek kanalizacije je razviden iz projekta kanalizacije vključno s priključkom na javno kanalizacijsko omrežje.
- Padavinske vode s strešnih površin objekta in padavinske vode z utrjenih površin bodo speljane v javno meteorno kanalizacijo. Vse padavinske vode s tlakovanih povoznih površin, se odvajajo v ponikovalnico preko lovilcev olja in bencina.
- Interna vodovodna inštalacija se izvede v podometni inštalaciji. Jašek z vodomerom se nahaja ob vhodu v poslovni del objekta.
- Na zahodnem vogalu parcele je predviden osebni in tovorni uvoz in izvoz na lokalno cesto. Prometna ureditev okoli objekta predvideva dostavo materiala v skladišče s kamioni, ki jim je omogočeno vzratno obračanje na plato pred vhodom za izdajo materiala. Vrata za dostavo materiala so na sredini severozahodne fasade, kjer je pred njo večja ploščad za manipulacijo kamiona in viličarjev. Okoli ostalih prostih stranic objekta so predvidena parkirna mesta za osebna vozila za zaposlene in obiskovalce. Tak razpored parkirnih mest omogoča tudi krožni promet osebnih vozil okoli objekta .
- Skupno število parkirnih mest na parceli je 26 in zadostuje za potrebe objekta, ki bo zgrajen v 1. fazi (11PM).
- Glavni izvajalec del: Eko produkt d.o.o., Trpinčeva 39, Ljubljana
- Nadzor gradbenih del: Stojan Ražen univ.dipl. inž. gr. SEJ d.o.o.
- Nadzor elektro inštalacijskih del: Dušan Holzbauer, univ.dipl.inž.el, Erling d.o.o.
- Nadzor strojnih inštalacij: Janez Šlibar univ. dipl. inž. str., Hermes projektiva d.o.o.
- Odgovorni vodja projekta: Milan Rađenovič univ. dipl. inž. arh., Arhi-3K d.o.o.
- Projekt gradbenih konstrukcij: dr. Bruno Dujč univ.dipl.inž. gr., CBD d.o.o.
- Projekt strojnih inštalacij: Janez Šlibar univ. dipl. inž. str., Hermes projektiva d.o.o.
- Projekt elektro inštalacij: Bojan Germovšek univ.dipl.inž. el., Profi d.o.o.
- Revizija projekta: Bureau Veritas
- Investicijska vrednost: 642 €/m<sup>2</sup> (zajeti vsi stroški izgradnje, projektov, soglasij, opreme, itd.)
- Leto izgradnje: 2010-2011