



Energi- och resurseffektiva murade ytterväggar



Energi- och resurseffektiva murade ytterväggar

Miklós Molnár, Lunds tekniska högskola
Jonas Niklewski, Lunds tekniska högskola
Ívar Björnsson, Lunds tekniska högskola



Energimyndighetens projektnummer: 37582-3

E2B2



Förord

E2B2s vision är en resurs- och energieffektiv byggd miljö.

Bebyggelsesektorn svarar för cirka en tredjedel av Sveriges totala energianvändning och en effektivare energianvändning är en viktig del av utvecklingen av energisystemet. I E2B2 arbetar forskare och andra aktörer tillsammans för att utveckla samhällets byggande och boende och effektivisera energianvändningen.

E2B2 är ett forsknings- och innovationsprogram från Energimyndigheten där IQ Samhällsbyggnad är koordinatör. Programmets andra programperiod pågår mellan 2018 och 2021.

Syftet med E2B2 är att ta fram ny kunskap, teknik, tjänster och metoder som bidrar till en hållbar energi- och resursanvändning i bebyggelsen. Det läggs därför stor vikt vid samverkan mellan näringsliv, samhälle och akademi och programmet ska bidra till och vara ett verktyg för att länka samman behovsägare med projektutförare.

Energi- och resurseffektiva murade ytterväggar är ett av projekten som har genomförts i programmet med hjälp av statligt stöd från Energimyndigheten. Det har letts av Lunds universitet och har genomförts i samverkan med Brukspecialisten i Väst AB, Kåver & Mellin AB, Leca Sverige AB, Nyströms Cementvarufabrik AB, Randers Tegel AB, Tegelmäster i Skåne AB, Tomas Gustavsson Konstruktioner AB, Karling Fasad AB, WSP Sverige AB, Combimix AB och AB Joma.

Projektet har utvecklat kunskap om energi- och resurseffektiva murade ytterväggar. Projektet har utvecklat en ny generation av energieffektiva murade väggar utan att ytterligare öka väggarnas tjocklek. Genom att ytförstärka det bärande skiktet kan tjockleken minskas. Insparat utrymme kan i stället användas för att öka tjockleken på isoleringsskiktet vilket ger ett energieffektivare klimatskal.

Stockholm, den 28 mars 2021

Rapporten redovisar projektets resultat och slutsatser. Publicering innebär inte att E2B2 har tagit ställning till innehållet.



Sammanfattning

Murade ytterväggar med 20 – 25 procent lägre U-värde än idag är nu möjliga att bygga genom att använda en nyutvecklad vägglösning. Tanken bakom den nya ytterväggslösningen är att slimma tjockleken på de bärande delarna genom användning av ytförstärkning och utnyttja det insparade utrymmet till mer termisk isolering.

Energiprestandan kan på detta sätt förbättras utan att ytterligare öka ytterväggarnas totala tjocklek, vilket är en fördel även ur ekonomisk synvinkel. Med hjälp av den nya tekniken kan U-värdet på en 420 millimeter tjock yttervägg bestående av förstärkt lättklinkermur, termisk isolering och fasadputs, sänkas till cirka 0,11 W/m²K. Den nya ytterväggstypen lämpar sig väl för byggande av småhus och mindre lokaler. Genom användning av tegelmurverk eller andra, starkare murverksmaterial, kan förstärkta murade väggar användas till flerbostadshus eller större lokaler.

Ett annat användningsområde för ytförstärkning är befintliga byggnader med murad stomme, där man i samband med renovering vill genomföra större ändringar i planlösningen eller vill bygga på fler våningsplan.

Projektet har genomförts vid Lunds tekniska högskola, Avdelningen för konstruktionsteknik, i samarbete med ett tiotal aktörer från industrin. Under perioden 2021 – 2023 genomförs ett fortsättningsprojekt med syfte att testa tekniken i pilotprojekt. Intresserade aktörer – byggherrar, arkitekter, tekniska konsulter – är välkomna att kontakta LTH Konstruktionsteknik eller projektets industrideltagare, Weber Saint – Gobain AB och Tomas Gustavsson konstruktioner AB för mer information eller tekniskt stöd.

Energieffektiv, murad, murverk, yttervägg, förstärkning, ytförstärkning



Summary

Masonry external walls with 20 – 25 percent lower U-value than today are now possible by using a newly developed wall solution. The idea behind the new external wall solution is to reduce the thickness of the load-bearing masonry by applying surface reinforcement and to substitute the masonry for thermal insulation.

In this way, energy performance can be improved without further increasing the overall thickness of the external walls, which is an advantage even from an economic point of view. Using the new technology, the U-value of a 420 mm deep external wall consisting of reinforced lightweight aggregate concrete (Leca), thermal insulation and façade plaster can be lowered to about 0.11 W/m²K. The new exterior wall type is well suited for the construction of detached houses and smaller premises. By using clay brick masonry or other types of strong masonry materials, reinforced masonry walls can be used for construction of apartment buildings or larger premises.

Strengthening by surface reinforcement can also be used during renovation of existing masonry buildings, enabling major changes to the floor plan or extension of the existing building by additional floors.

The project has been carried out at Lund University, Division Structural Engineering, in collaboration with actors from industry. During the period 2021 –2023, a continuation project is being carried out with the aim of bringing the technology to practice. Interested actors – developers, architects, technical consultants – are welcome to contact the Division of Structural Engineering or the project's industrial participants, Weber Saint – Gobain AB and Tomas Gustavsson konstruktioner AB for more information or technical support.

Energy efficient, masonry, external walls, strengthened, externally bonded strengthening.



INNEHÅLL

1	INLEDNING OCH BAKGRUND	7
1.1	BAKGRUND	7
1.2	NYA, ENERGI- OCH RESURSEFFEKTIVA MURADE VÄGGAR	7
1.3	KUNSKAPSLÄGE OCH TIDIGARE ERFARENHETER	7
1.4	MÅLSÄTTNINGAR	8
1.5	PROJEKTDELTAGARE	9
2	GENOMFÖRANDE	10
2.1	EXPERIMENTELLA UNDERSÖKNINGAR	10
2.2	ANALYSER	10
2.3	PRAKTISK GENOMFÖRBARHET	11
2.4	TILLÄMPNING OCH SAMVERKAN MED ANDRA PROJEKT	11
3	RESULTAT	12
3.1	BÄRFÖRMÅGA OCH BETEENDE HOS SLANKA YTFÖRSTÄRKTA LÄTTKLINKERVÄGGAR (AP1)	12
3.2	BÄRFÖRMÅGA OCH BETEENDE HOS SLANKA YTFÖRSTÄRKTA TEGELVÄGGAR (AP1)	12
3.3	BERÄKNING AV YTFÖRSTÄRKTA VÄGGARS BÄRFÖRMÅGA (AP2)	13
3.4	MATERIALANVÄNDNING	13
3.5	UTFÖRANDE	14
4	DISKUSSION	15
4.1	ENERGIEFFEKTIVA YTTERVÄGGSLÖSNINGAR	15
4.2	ENERGIBESPARING	16
4.3	LÅNGSIKTIG BESTÄNDIGHET	16
4.4	PRAKTISKA ASPEKTER	16
4.5	BRANDSKYDD	17
4.6	AKUSTIK	17
4.7	SAMARBETEN OCH UTVECKLINGSMÖJLIGHETER	17
5	PUBLIKATIONSLISTA	18
6	REFERENSER	19



1 Inledning och bakgrund

1.1 Bakgrund

Skärpta krav på energihushållning i EUs energieffektiviseringsdirektiv (EU 2012 och EU 2018) har skapat ett behov av att förbättra ytterväggars energiprestanda. Boverkets krav på klimatdeklarationer (Boverket 2018) verkar i samma riktning - byggandets klimatpåverkan bör minskas.

Skärpta krav på byggnaders energiprestanda har över tid lett till allt tjockare ytterväggar. Dagens välsolerade ytterväggar i Sverige har en tjocklek på mellan 400 – 500 millimeter. Förbättrad energiprestanda kan uppnås genom användning av termisk isolering med bättre isolerförmåga eller en ytterligare ökning av ytterväggarnas tjocklek. Nackdelarna med den senare åtgärden är att byggherren förlorar nyttig yta och att mer material måste användas.

Moderna, energieffektiva murade ytterväggar i Sverige består ofta av lättbetong- eller lättklinkerblock med inbyggd isolering, så kallade sandwichblock. Sandwichblock består alltså av två jämntjocka skikt av lättbetong eller lättklinkerbetong och mellanliggande termisk isolering. Störst nytta för energihushållningen har man av den termiska isoleringen och det inre murverksskiktet. Det yttre murverksskiktet fungerar främst som putsbärare och uppvisar förhöjt fuktinnehåll, vilket innebär att det tillför mindre nytta ur energihushållningssynpunkt.

1.2 Nya, energi- och resurseffektiva murade väggar

I detta projekt har en alternativ murad ytterväggskonstruktion utvecklats. Som inre bärande skikt har en förstärkt murad vägg av lättklinker respektive tegel använts. Tjockleken på den bärande väggen slimmades genom användning av ytförstärkning, en teknik som beskrivs mer ingående längre fram. Minskning av vägg tjockleken sker från dagens 120 – 150 millimeter till cirka 100 millimeter.

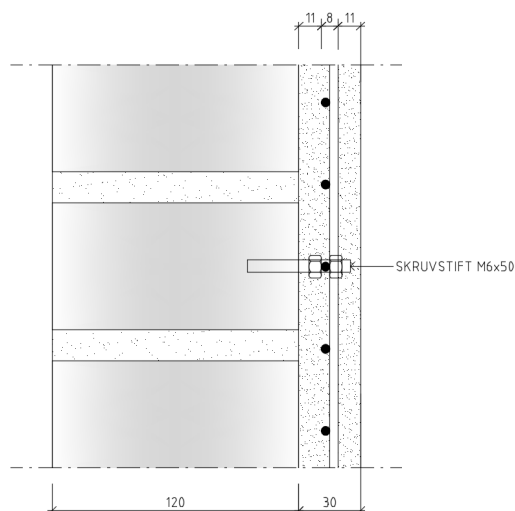
En minskning av den bärande väggens tjocklek frigör utrymme till mer termisk isolering, utan att ytterligare öka ytterväggens totala tjocklek. Som isolering kan skivor av mineralull, polyuretan (PIR) eller en kombination av dessa två isolermaterial användas. Fasadskiktet kan bestå av till exempel tjockputs, som appliceras mot det yttre isolerskiktet, eller tegel.

Ytterväggar med en tjocklek på mellan 420 – 500 millimeter beräknas kunna få ett U-värde på mellan 0,10 - 0,11 W/m²K. Jämfört med nuvarande lösningar, innebär de nya vägglösningarna att U-värdet minskar med mellan 20 – 25 procent.

1.3 Kunskapsläge och tidigare erfarenheter

Ytförstärkning kan ske genom användning av exempelvis armering av stål eller glasfibernet, som bäddas in i ett lager av höghållfast puts. Förstärkning kan appliceras på murverkets ena eller båda sidor, se figur 1.

Ytförstärkning har internationellt huvudsakligen använts för att förbättra murade konstruktioners motståndskraft mot jordbävningar (Papanicolaou med flera, 2011). Motsvarande positiva effekter när det gäller ökad bärförmåga och förbättrad brottseghet kan uppnås även för huvudsakligen vertikalt bärande väggar (Bernat med flera, 2013).



Figur 1 Väggsektion med ytförstärkning. Källa: Jönsson och Molnár (2018).

I det svenska FoU-projektet "Energieffektiv renovering av massiva murade ytterväggar", genomfört mellan 2016 – 2018 vid LTH Konstruktionsteknik, har ytförstärkning med stål nät studerats. Projektet finansierades av Energimyndigheten/E2B2 genom anslag 37582-2 samt aktörer inom murverksindustrin, se E2B2 rapport 2018:08 samt Jönsson och Molnár (2018).

I projektet har en ökning av bärförmågan hos ytförstärkta tegelväggar på mellan 30-100 procent kunnat påvisas. En slutsats från detta projekt var att väsentligt tunnare murade väggar än idag kan byggas utan negativa återverkningar på bärförmåga och säkerhet. Det framkom samtidigt att frågor som rör mer optimala kombinationer av murverks- och förstärkningsmaterial, träffsäkerhet i beräkningsmetoder samt minskning av materialåtgången och arbetsbehovet bör fortsatt utredas – ett arbete som senare genomfördes i projektet vars resultat presenteras i denna rapport.

1.4 Målsättningar

Projektets syfte har varit att, genom utveckling av ny kunskap och tekniska lösningar, medverka till utveckling av en ny generation av energieffektiva murade ytterväggar. Följande mål har satts upp:

- Genom labbtestning och beräkningar utvärdera en bredare palett av förstärkningsmetoder, så att bärande väggar av lättklinkerbetong och tegel ska kunna uppföras med tjocklekar ända ner till 100 millimeter;
- Optimera materialanvändning och arbetsutförande vid uppförande av de nya murade ytterväggskonstruktionerna, så att dessa inte blir mer resurskrävande än övriga, idag förekommande ytterväggskonstruktioner;
- Sänka energianvändningen med minst 20 procent i nybyggda bostäder och lokaler uppförda med den nya typen av murade ytterväggar, med bibehållen eller minskad total väggjocklek.



- Testa den nyutvecklade tekniken i tre pilotprojekt.

1.5 Projektdeltagare

Projektet har genomförts av forskare vid Lunds tekniska högskola, avdelningen för konstruktionsteknik, i samarbete med aktörer från murverksindustrin. Projektdeltagare LTH:

- Miklós Molnár (projektledare);
- Jonas Niklewski;
- Per-Olof Rosenkvist;
- Ívar Björnsson.

Projektdeltagare från industrin:

- Martin Persson, Tegelmäster AB;
- Jörn Andersson och Krister Nyman, Weber Saint-Gobain AB (Leca);
- Anders Planensten, Fasadgruppen (tidigare Randers Tegel AB);
- Oscar Jäderlund, Combimix AB;
- Henrik Johansson, Joma AB;
- Tomas Gustavsson, TG konstruktioner AB;
- Mikael Karling, Karling Fasad AB;
- Kenneth Karlsson, Nyströms Cement AB;
- Carl Hansson, Brukspecialisten AB;
- Fabian Almfeldt, Kåver & Mellin AB;
- Åke Nordlund, Tyréns (tidigare WSP).

I projektets referensgrupp deltog, utöver industrin:

- Eva Frühwald Hansson, LTH;
- Annika Mårtensson, LTH.

Författarna vill tacka:

- Johan Hiller och Robin Andersson, Fasadgruppen, för hjälp med murningen;
- Pontus Brynk, student vid LTH, för hjälp med förstärkning och provning av väggarna;
- Torben Hemberg, Adfors Saint-Gobain, för hjälp med anskaffning av glasfibernät.



2 Genomförande

2.1 Experimentella undersökningar

Projektet har genomförts i fyra arbetspaket. I första arbetspaketet (AP1) har experimentella studier genomförts i LTHs konstruktionslaboratorium på 36 fullskaleväggar samt murverkskomponenter. Väggarna, som var 2,4 meter höga, belastades med en excentrisk vertikal last tills brott inträffade. Väggar uppfordes med lättklinker- respektive tegelmurverk och förstärktes med vanligt betongnät, murverksarmering (bistål - figur 2, vänster), remsor av höghållfast tråd (figur 2 - höger), remsor av plåt samt två olika sorters glasfibernät. Förstärkningen förankrades mot väggytan med hjälp av puts, utom i fallet med plåtremsorna, som förankrades mekaniskt med hjälp av skruvar (en mer udda lösning som projektet inte gick vidare med).



Figur 2 Förstärkning av lättklinkervägg med bistål (vänster) respektive tråd av höghållfast stål (höger). Förstärkningsputsen appliceras med spruta i efterkommande steg.

För att stegvis förbättra arbetstekniken och optimera materialanvändningen, genomfördes arbetet i tre etapper. En delstudie genomfördes för att undersöka ytförstärkta väggars bärförmåga med avseende på transversal last.

2.2 Analyser

I arbetspaket två (AP2) har utvärderingar gjorts av de experimentella resultaten i AP1 och dimensioneringsanvisningar tagits fram för praktisk tillämpning av resultaten. Den senare riktar sig till praktiserande konstruktörer. Resultaten finns dokumenterade i rapport av Molnár med flera (2021).

Flertalet aktiviteter har genomförts för att sprida information kring resultaten och möjligheterna med tekniken. Ett viktigt forum har varit Föreningen för tungt murat och putsat byggande med 22 medlemmar från murverksindustrin och konsultbranschen. Presentationer har gjorts på högskolekurs i murverkskonstruktion (KTH 2019), miniseminarier hos Tyréns (Lund 2020) och Danewids Ingenjörbyrå (Malmö 2020), Byggherrarnas utbildning i klimatsmart materialval (Stockholm 2021) samt i samband



med öppet slutseminarium (Teams 2021). Merparten av aktiviteterna har genomförts av forskarna från LTH, i samarbete med TG konstruktioner AB och branschorganisationen Mur- och Putsföretagen (MPF, tidigare SPEF).

2.3 Praktisk genomförbarhet

I arbetspaket tre (AP3) har frågor om praktisk genomförbarhet med avseende på förstärkningstekniker, optimal resursanvändning och inte minst energiprestanda hanterats. Exempel på frågor som hanterats är: a) minsta acceptabla putstjocklek med hänsyn till säkerhet mot brott kontra minskat klimatavtryck; brandskydd av ytförstärkningen på ytor utsatta för brand genom konstruktiva lösningar (placering i frästa spår) eller användning av specialputs (gipsputs, lättviktsputs); anpassning av existerande och utveckling av nya produkter som möjliggör infästning av fönster och dörrar med minimala köldbryggor vid vägg genomföringar (komprimerad mineralull, profiler av tunnplåt; förankringsprodukter (kramlor) för isolertjocklekar över 250 mm. Experterna från industrin har varit drivande i detta arbete.

2.4 Tillämpning och samverkan med andra projekt

I arbetspaket fyra (AP4) har ansträngningar gjorts för att föra ut tekniken på marknaden, så att den ska kunna användas i det praktiska byggandet av främst småhus och mindre lokaler, men även i flerbostadshus med upp till fyra våningar. Två konkreta uppslag har undersökts: 1) en privatbostad av town-housetyp i centrala Landskrona (våren 2020). Förslaget att använda ytförstärkt murverk kom in alltför sent i byggprocessen, byggherren gick vidare med det ursprungliga förslaget; 2) en privatbostad i Gamla Boo, Hörby kommun (vintern 2020-2021). I det senare fallet har projektet hjälpt byggherren med preliminära beräkningar, underlag till arkitekturritningar håller på att tas fram, byggstart planeras till augusti 2021. Båda uppslagen fångades upp av projektets industriaktörer.

Parallellt pågår utredning av möjligheterna att använda tekniken i flerbostadshus – utredningen leds av TG konstruktioner AB, i samarbete med Fojab Arkitekter och Tyréns (klart juni 2021). Samtal med byggkonsultföretaget Optima Engineering om att använda tekniken i ett kombinerat renoverings- och påbyggnadsprojekt i Göteborgsregionen pågår sedan 2020.

Samarbete och utbyte har skett med projekten "Innovativt bostadsbyggande genom flexibla robotar i samverkan med människor", Boverket 6438/2018 och "Innovativ Agile Construction for globally improved sustainability (ACon 4.0)", Vinnova 2019-04750 avseende användning av ytförstärkning i robotiserat murat byggande. Erfarenhetsutbyte har skett med projektet "Superisolerande puts för renovering och nybyggnation" (Energimyndigheten 46822-1).



3 Resultat

3.1 Bärförmåga och beteende hos slanka ytförstärkta lättklinkerväggar (AP1)

De experimentella undersökningarna visade att 2,4 meter höga lättklinkerväggar byggda med block av tjockleken 90 mm och ytförstärkning, inklusive 10 mm förstärkningsputs, erhöjll en vertikal bärförmåga motsvarande 80 – 120 kN per meter vägg, räknat som dimensionerande värde. Excentriciteten på vertikallasten varierade mellan 10 – 20 mm. Generellt gäller att ju större excentricitet på den vertikala lasten, desto lägre bärförmåga och desto större effekt av förstärkningen. Brott inträffade på två distinkta sätt: 1) prägling under eller i närheten av lastpåföringsplattan (figur 3, vänster); 2) knäckning, vilket yttrade sig antingen som böjtryckbrott i jämnhöjd med det största momentet eller som dragbrott i förstärkningsmaterialet. I det senare fallet kollapsade väggarna (figur 3, höger). Den transversala utböjningen vid väggarnas mitthöjd i samband med brott var mellan 15 – 25 mm. Resultaten presenteras i sin helhet i rapport av Molnár med flera (2021).



Figur 3 Prägling av väggens belastade kant (vänster); dragbrott i förstärkningen, med följd att väggen kollapsade (höger).

Ytförstärkningen ökar bärförmågan med avseende på vertikal last med cirka 80 procent jämfört med motsvarande oförstärkt vägg. Annorlunda uttryckt, skulle en oförstärkt vägg behöva vara cirka 40 – 50 procent tjockare än de förstärkta väggarna, det vill säga 140 – 150 mm istället för 100 mm. Tack vare förstärkningen kan ett utrymme på 45 – 50 mm uppstå, vilket kan användas till att öka tjockleken på den termiska isoleringen alternativt minska ytterväggens tjocklek.

3.2 Bärförmåga och beteende hos slanka ytförstärkta tegelväggar (AP1)

Motsvarande undersökningar som beskrivs i avsnitt 3.1 genomfördes även på tegelväggar. Den största skillnaden i fallet med tegelväggarna har varit att tegelmurverkets tryckhållfasthet var tre till fem



gångar högre än hos lättklinkermurverket. Bärförmågan för väggarna med det svagare murverket landade på 100 – 240 kN/m medan det i fallet med det starkare teglet hamnade på 200 – 230 kN/m. Huvudsyftet med undersökningen av tegelväggarna med det starkare teglet var att studera de förstärkta väggarnas beteende – högre bärförmåga hade med andra ord kunnat uppnås. Motsvarande brottmoder, som beskrivs i avsnitt 3.1, observerades även i dessa undersökningar.

Ytförstärkningen medför en större förstärkningseffekt i fallet med tegelväggar än med lättklinkerväggar, framförallt på grund av tegelmurverks högre tryckhållfasthet. Effekten av förstärkning var som störst i fallet med vekt tegelmurverk, eftersom utböjning och således excentricitet ökade markant. En oförstärkt vägg skulle behöva vara 150 – 170 mm tjock för att ha samma bärförmåga med avseende på vertikal last som en ytförstärkt vägg med 100 mm tjocklek. Motsvarande möjligheter att använda mer termisk isolering i ytterväggar uppstår som i fallet med lättklinkerväggarna.

3.3 Beräkning av ytförstärkta väggars bärförmåga (AP2)

Bärförmågan hos ytförstärkta väggar belastade med excentrisk vertikal last kan bestämmas med analysmetoder etablerade inom murverks- och betongområdet. Vid bestämning av bärförmågan hos ett tvärsnitt beaktas således den samtidigt verkande normalkraften och momentet. I samband med beräkning av momentet, bör hänsyn tas till tilläggsutböjningar som uppstår på grund av väggens slankhet, de så kallade andra ordningens effekter. Dimensionering av ytförstärkt murverk kan genomföras enligt anvisningar i Eurokod 6, Konstruktiv utformning av murverkskonstruktioner.

Erfarenheterna och underlaget från de experimentella undersökningarna i detta projekt pekar på att Eurokod 6 underskattar bärförmågan med uppemot 30 procent, ett fenomen som är förhållandevis vanligt när experimentella resultat jämförs med dimensioneringsregler. Avvikelsen på säkra sidan är extra stor när det gäller belastning med låg excentricitet. Forskarna i projektet har förberett ett möte med Boverket för att kunna föreslå projekteringsanvisningar som ger säkra men för den skull inte överdimensionerade konstruktionslösningar.

3.4 Materialanvändning

En av de viktigaste målsättningarna var att minska de bärande väggarnas tjocklek och helst komma ner till cirka 100 millimeter. Lättklinkerblock och tegelstenar med 90 respektive 87 millimeters tjocklek identifierades därför som lämpliga väggkomponenter. Nästa övervägande avsåg tjockleken på den puts som skulle förankra förstärkningsmaterialet mot väggytan. Då den förstärkta väggen hamnar på insidan av ytterväggen och därmed omges av inomhusklimat, kunde putsens tjocklek väljas enbart utifrån kravet på god förankringskapacitet för förstärkningen.

I projektet har putstjockleken successivt minskats från det ursprungliga 20 millimeter ända ner till 5 millimeter, utan några indikationer på bristande förankring av förstärkningen. Av praktiska, utförandemässiga hänsyn, har projektet slutligen landat i att rekommendera en putstjocklek på cirka 10 millimeter i situationer där funktionskrav som beständighet, brand eller akustik inte ställer högre krav. Denna putstjocklek skulle dock kunna minskas till 7 – 8 millimeter om armering av höghållfast tråd används. Vid användning av stenar och block med cirka 90 millimeters tjocklek och ensidig förstärkning, kan tjockleken på de bärande väggarna begränsas till 100 millimeter. Vid dubbelsidig förstärkning landar man på en väggstjocklek på cirka 110 millimeter.



3.5 Utförande

Inom projektet har mycket uppmärksamhet riktats på att underlätta praktiskt utförande av väggförstärkningsarbetet, speciellt med tanke på förhållanden som normalt råder på en svensk byggarbetsplats. Eftersom uppförande av byggnader ofta sker under bar himmel, måste de använda materialen och arbetsmetoderna fungera i samband med regn och låga temperaturer. Av denna anledning uteslöts applicering av förstärkningen genom limning med epoxy-baserade produkter. I figur 4 finns QR-kod till Youtube-video med sekvenser från förstärkningsarbetet och provning av väggarna.



Figur 4. Skanna QR-koden för att se Youtube-video från arbetet med väggarna i LTHs labb.

Projektet har undersökt huruvida förstärkningen kan appliceras direkt mot väggunderlaget före putsningen, en åtgärd som sparar mycket tid. Resultaten visar att förstärkning av stålstänger (bistål) och remsor av höghållfast stål med gott resultat kan appliceras direkt på väggytan medan glasfibernet bör appliceras i vått bruk. I det senare fallet måste putsen appliceras i två steg, vilket är mer arbetskrävande.

Putsen bör appliceras med en putsspruta och kompakteras samt jämnas av för hand med bredspackel. Putsen kan appliceras i ett steg upp till en tjocklek på 10 millimeter. Före applicering av putsen kan underlaget behöva fuktas upp.

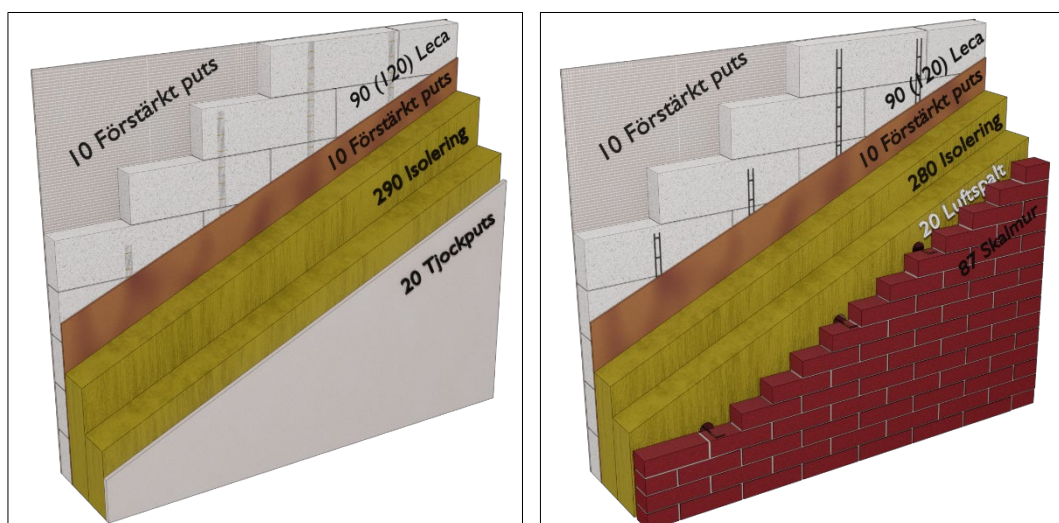


4 Diskussion

4.1 Energieffektiva ytterväggslösningar

Användning av tunna murade väggar med hög bärförmåga möjliggör uppförande av byggnader med ytterväggar som har ett U-värde mellan 0,10 – 0,11 W/m²K. Exempel på väggsektioner med fasadskikt av tjockputs respektive tegel visas i figur 5.

Jämfört med dagens murade ytterväggar, uppskattas de nya ytterväggssektionerna kunna sänka ytterväggens U-värde med mellan 20 - 25 procent. Ytterligare förbättringar av byggnadsskalets energiprestanda genom användning av de förstärkta murade väggarna kan uppstå tack vare minskat behov av lokala förstärkningar vid smala väggpartier. Denna typ av förstärkningar är annars ofta nödvändiga när byggnaden innehåller stora fönster och dörrpartier. Stålpelare kan då behöva placeras i ytterväggarna i närheten av öppningar, en åtgärd som försämrar U-värdet och ger ett negativt klimatavtryck.



Figur 5. Lecavägg med förbättrad energiprestanda med fasadputs (vänster) och tegelskalmur (höger).

När murade ytterväggar uppförs med sandwichblock, används normalt så kallade ändblock för att underlätta infästning av fönster och dörrar. I ändblock består ytan mot öppningen av massivt murverksmaterial, vilket medför ökade transmissionsförluster runt öppningen. I de nya, förstärkta murade väggarna behöver inte ändblock användas – fönster och dörrar kan istället fästas mot stålprofiler placerade i lägen för karmarnas infästningspunkter.



4.2 Energibesparing

Jämfört med en murad yttervägg av traditionell sandwichblock med en total tjocklek på 420 mm, kan innehållet av termisk isolering i en ny typ av yttervägg med samma tjocklek ökas med 30-35 procent. U-värdet sänks därmed med cirka 25 procent, vilket ger en besparing på cirka 15-20 procent på byggnadsnivå. Även användning av energi vid tillverkning av murverksmaterial minskar.

Möjligheterna med ytförstärkning är inte begränsade till nybyggnation. Tekniken kan lika väl användas för att öka bärformågan i befintliga byggnadsstommar, vilket undersöktes mer i detalj i ett tidigare projekt vid LTH Konstruktionsteknik, se Jönsson och Molnár (2018).

Energibesparingspotentialen, räknat på murverksprodukters marknadsandel på 4 - 5 procent av den svenska marknaden för småhus och lokaler, uppskattas till 25 GWh/år. Ytterligare positiva spridningseffekter kan uppstå genom internationell spridning av den nya tekniken. Allteftersom fler hus byggs med den nya tekniken, ökar potentialen över tid.

Ytterligare besparingar avseende energi är möjliga om väggarna byggs med återbrukade murverksmaterial. Ytförstärkning kan vara extra intressant i detta sammanhang, eftersom den skulle kunna kompensera för sämre vidhäftning hos till exempel återbrukat tegel.

4.3 Långsiktig beständighet

Murverk har dokumenterat goda beständighetsegenskaper, speciellt med avseende på fuktpåverkan. Många murade byggnader i våra innerstäder är kring hundra år gamla och det finns inte några tecken på att de inte även i fortsättningen skulle kunna fungera väl ur teknisk synpunkt.

Med dagens mått mätt är dock energiprestandan i byggnadsbeståndet från denna tidsperiod inte tillfredsställande. Tack vare skärpta krav på rationell energihushållning, har murade byggnaders energiprestanda förbättrats över tid. Resultaten i detta projekt öppnar möjligheter till att ytterligare förbättra energiprestandan i nya byggnader med murad stomme.

Det finns samtidigt goda förutsättningar för att byggnader uppförda med murverksmaterial kan uppnå en praktisk livslängd långt bortom det femtioåriga perspektiv som idag gäller vid livscykelanalyser. En annan positiv aspekt med murade byggnader är förhållandevis lågt underhållsbehov, exempelvis när det gäller tegelfasader. Framtida utveckling av metoder för analys av byggandets energi- och klimatfaktorer förväntas ytterligare nyansera bilden.

4.4 Praktiska aspekter

Uppförande av tunna murade väggar medför, vid sidan av redan påpekade positiva energi- och resursanvändningsmässiga fördelar, samtidigt tekniska komplikationer. Slanka väggar är generellt mindre stabila än tjockare väggar, vilket innebär att murningen går långsammare och mer uppmärksamhet måste läggas på stagning under byggtiden.

Installationer, till exempel elledningar, placeras normalt i frästa spår, vilket medför att eventuell ytförstärkning av väggar som vetter mot insidan måste ske i efterhand. Vid eventuella framtida håltagningar eller spårfräsning måste eventuella skador på förstärkningen undvikas.



4.5 Brandskydd

Förstärkning som bidrar till väggar bärformåga ska ha tillräckligt brandskydd. I fallet med en murad vägg som måste förses med förstärkning på båda sidor, är det väggytan som vetter mot byggnadens inre som kommer att utsättas för brandpåverkan. Vid användning av ytförstärkning som kräver brandskydd längre än 15 minuter, måste åtgärder vidtas i form av putsning med gips- eller lättviktsputs. Ytförstärkningen kommer därför att behöva förankras i en cementbaserad grundputs med tjockleken mellan 3 – 5 millimeter, som sedan byggs på med brandskyddande gips- eller lättviktsputs till en total tjocklek på cirka 10 – 15 millimeter. Om gips- eller lättviktsputs inte ger tillräckligt brandskydd, måste förstärkningen ske i form av stål- eller glasfiberstänger som placeras i vertikala spår.

4.6 Akustik

Tunna, lätta väggar försämrar den akustiska prestandan. Användning av ytförstärkt murverk bestående av en tunn bärande inre vägg kan därför vara problematisk i miljöer med höga bullernivåer, även om ökad tjocklek på den termiska isoleringen delvis kompenserar för den minskade väggjockleken. I småhusbebyggelse är dock bullerförhållandena ofta förhållandevis gynnsamma, vilket pekar på att akustiken inte utgör något större hinder för den nya tekniken.

4.7 Samarbeten och utvecklingsmöjligheter

Experter från industrin deltog aktivt i genomförandet av projektet, vilket har medfört att många av de deltagande företagen ser en marknadspotential i projektets resultat. Weber Saint-Gobain AB, Tomas Gustavsson konstruktioner AB och LTH Konstruktionsteknik har därför utverkat stöd från Energimyndigheten för ett fortsättningsprojekt (E2B2 projekt 37582-4) med syfte att föra ut tekniken, till att börja med, på den svenska marknaden. Projektet genomförs under perioden 2021 – 2023.

Föreningen Tungt murat och putsat byggande (TMPB), med flertalet arkitekt- och konsultföretag bland medlemmarna stödjer projektet, vilket skapar goda förutsättningar för att nå många potentiella byggherrar, arkitekter och konsulter. Intresserade aktörer uppmanas att på eget initiativ höra av sig till projektets deltagare, som kan erbjuda stöd till framtagning av besluts- och projekteringsunderlag. Projektets kontaktpersoner är:

- Jörn Andersson, Weber Saint-Gobain AB, jorn.andersson@weber.se;
- Tomas Gustavsson, TG konstruktioner AB, tomas@konstruktioner.se;
- Miklós Molnár, LTH Konstruktionsteknik, miklos.molnar@kstr.lth.se.

Inom fortsättningsprojektet, kommer möjligheter till ytterligare förbättringar i form av minskad resursanvändning att undersökas, till exempel genom att minska cementhalten i förstärkningsbruket eller genom att bygga väggar med återvunna murblock/stenar. Ett annat område där projektet kommer att arbeta med förbättringar är anslutningsdetaljer som minimerar köldbryggor.

Sedan 2019 har projektet aktivt samarbetat med två andra projekt knutna till Center för byggrobotik, <https://www.lth.se/digitalth/byggrobotik/>. Inom projekten har förutsättningarna för att använda ytförstärkta väggar i robotiserat murat byggande undersökts. Forskarna på LTH och industriaktörerna i de nämnda projekten förbereder tre ansökningar, där det aktuella projektets resultat är tänkta att komma till användning i samband med utveckling av nya, murverksbaserade och robotvänliga byggsystem. En av ansökningarna lämnades in i februari 2021 till Smart Built Environments utlysning "Digitalt samhällsbyggande i praktiken". Övriga ansökningar planeras att bli inlämnade under 2021.



5 Publikationslista

Konferensbidrag

- Niklewski, J. and Molnár, M. (2020): "Strengthened clay brick and lightweight aggregate concrete block walls tested under eccentric axial loading – a feasibility study on different strengthening techniques." Proc. of the 17th International Brick and Block Masonry Conference, editors Kubica, J., Kwiecień, A. and Bednarz, Ł., p.987-993.

Populärvetenskapliga artiklar

- Niklewski, J., Molnár, M. och Rosenkvist, P-O.: "Energieffektiva murade väggar med slimmad tjocklek". Bygg & teknik, 2/2020, sidan 47 – 49.
- Niklewski, J., Molnár, M., Gustavsson, T., Rosenkvist, P-O. och Andersson, J.: " Tjugo procent lägre U-värde med förstärkta murade väggar." Bygg & teknik, 2/2021.

Teknisk rapport

- M. Molnár, Niklewski, J., Björnsson, I.: "Energy efficient buildings by use of reinforced masonry walls. An experimental study". Rapport TVBK-3077, Lunds tekniska högskola, ISBN: 978-91-87993-19-0, 2021.

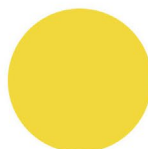
Video


- Youtube : <https://youtu.be/KqPwODIY0-s>.



6 Referenser

- Bernat, E., Gil, L., Roca, P. and Escrig, Ch. (2013). "Experimental and analytical study of TRM strengthened brickwork walls under eccentric compressive loading." *Construction and Building Materials* 44 (2013) 35–47, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.03.006>.
- Boverket (2018). "Klimatdeklaration av byggnader." <https://www.boverket.se/sv/om-boverket/publicerat-av-boverket/publikationer/2018/klimatdeklaration-av-byggnader2/>. Hämtad 2021-03-03.
- E2B2 (2018). Energieffektiv renovering av massiva murade ytterväggar. Rapport 2018:08. https://www.e2b2.se/library/3938/slutrapport_energieffektiv_renovering_av_murade_yttervaggar.pdf. Hämtad 2021-03-03.
- Europeisk unionen (2018). "Direktiv 2018/2002". https://www.energimyndigheten.se/globalassets/energieffektivisering_/lagar-och-krav/eneffdirektivet/uppdatering-av-energieffektiviseringsdirektivet-2018.pdf. Hämtad 2021-03-03.
- Europeiska unionen (2012). "Direktiv 2012/27/EU." https://www.energimyndigheten.se/globalassets/energieffektivisering_/lagar-och-krav/eneffdirektivet/eed-svenska-versionen.pdf. Hämtad 2021-03-03.
- Jönsson, J. och Molnár, M. (2018). "Förstärkning av murade väggar genom ytarmering av stål nät. Resultat från experimentella studier och beräkningar." Rapport TVBK-3069, Lunds tekniska högskola, 39 sidor, ISBN 978-91-87993-08-4.
- Papanicolaou, C., Triantafillou, T. and Lekka, M. (2011). "Externally bonded grids as strengthening and seismic retrofitting materials of masonry panels." *Construction and Building Materials* 25 (2011) 504–514, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2010.07.018>.



 *En tredjedel av all energi som används i Sverige används i bebyggelsen och en effektivare energianvändning är en viktig del av utvecklingen av energisystemet.*

I E2B2 arbetar forskare och andra aktörer tillsammans för att utveckla samhällets byggande och boende och effektivisera energianvändningen. I den här rapporten kan du läsa om ett av projekten som ingår i E2B2.

E2B2 är ett forsknings- och innovationsprogram från Energimyndigheten där IQ Samhällsbyggnad är koordinator. Läs mer på www.E2B2.se.

