

Final report

1.1 Project details

Project title	Bæredygtig energirenovering af murede facader i etageejendomme
Project identification (program abbrev. and file)	EUPD, J. nr. 64013-0144
Name of the programme which has funded the project	2013, Energieffektivitet (EUDP 13-II)
Project managing company/institution (name and address)	Teknologisk Institut Kongsvang Allé 29, DK-8000 Aarhus C
Project partners	Teknologisk Institut SBI Danakon A/S Enemærke og Petersen A/S NOVA5 Pålsson Arkitekter Strøjer Tegl A/S Pipers Teglværker A/S (udtrådt) Arbejdernes Andelsbolig AAB (udtrådt)
CVR (central business register)	56976116
Date for submission	2013-09-12

1.2 Short description of project objective and results

The project has developed and demonstrated a method for effective energy renovation of masonry facades respecting the architecture and optimizing the indoor environment. Materials and concept ensure the aesthetic qualities and robustness of the façade so that the dwelling and urban qualities are maintained or improved. The target for the solution is brick apartment buildings built 1930 - 1980.

The concept is based on the demolition of existing facing, ie. the outer half brick. Replaced by a new slim brick wall, which allows for more insulation. The insulation, expanded polystyrene or EXP combines a static load-bearing capacity with a certain elasticity, so that temperature movements between outer and inner leaf of the cavity wall are allowed. Thus the insulation replaces traditional binders and forms a sandwich structure with greater strength than the original wall.

Projektet har udviklet og demonstreret en effektiv metode til energirenovering af de ældre murede facader med respekt for teglarkitekturen og med optimering af indeklima. Materialer og koncept sikrer facadens æstetiske kvaliteter og robusthed, således at boligens og bymiljøets kvaliteter bevares eller forbedres. Målgruppen for den udviklede løsning er murede etageejendomme opført 1930 - 1980. Konceptet er baseret på nedrivning af den eksisterende formur, dvs. den yderste 1/2 mursten. Der opføres herefter en ny slank klimaskærm af tegl, som giver plads til mere isolering. Væsentlig er det, at isoleringen - ekspanderet polystyren eller EPS - har statisk bæreevne i kombination en vis elasticitet, så isoleringen kan

optage differensbevægelserne mellem formur og bagmur. Hermed erstatter isoleringen de traditionelle bindere, og der dannes en sandwichkonstruktion med større styrke end den oprindelige facade.

1.3 Executive summary

Formålet er at muliggøre en effektiv energirenovering af de ældre murede facader med respekt for teglarkitekturen og med optimering af indeklima. Materialer og koncept skal sikre facadens æstetiske kvaliteter og robusthed, således at boligens og bymiljøets kvaliteter bevares eller forbedres. Dette gennemføres ved at udvikle, teste, dokumentere og demonstrere en metode til energirenovering af muret byggeri. Fokus var murede etageejendomme fra perioden 1930 til ca. 1980, hvor især den tidligere periode frem til ca. 1960, med massivt murværk, var den store udfordring. Metoden består i nedrivning af 1/2 sten (108 mm) fra facaden, hvorefter der isoleres og mures en ny slank 78 mm facade. Metoden er i et tidligere EUDP projekt (nr. 64012-0112) udviklet til parcelhuse. I nærværende projekt løses udfordringerne med massivt murværk og etageejendomme, hvor især statiske forhold er komplicerede.

Teknik

Konceptet er baseret på nedrivning af den eksisterende formur, dvs. den yderste 1/2 mursten. Der opføres herefter en ny slank klimaskærm af tegl, som giver plads til mere isolering, idet man som udgangspunkt "bliver" på den eksisterende sokkel, og kun øger facadetykkelsen minimalt, af hensyn til muligheden for at isolere sokkelen. Væsentlig er det, at isoleringen har statisk bæreevne i kombination en vis elasticitet, så isoleringen kan optage differensbevægelserne mellem formur og bagmur. Hermed erstatter isoleringen de traditionelle bindere, og der dannes en sandwichkonstruktion med større styrke end den oprindelige facade.

Arkitektur

Målet er ejendomme fra perioden 1930-80, med stilarter som nyklassicisme, national funkis, den funktionelle tradition, samt type-etagehuset (kilde: [A]). I projektet indgår en vurdering af egnede ejendomme og deres kulturarvsværdi, idet det skal afklares, om det er forsvarligt at nedrive facaden. Der tages udgangspunkt i de 4 kategorier af kulturarvsværdi beskrevet i [B]. Da den murede facade genskabes med respekt for det oprindelige hus, vil det være muligt at energirenovere facader i de 3 laveste kategorier. I ethvert projekt må der indgå en arkitektonisk vurdering af materialer, detaljer og udførelse. I den laveste kategori D "Anonymt" er der mulighed for at optimere den arkitektoniske værdi.

Totaløkonomi og energi

Ud over udgiften til renovering indgår fremtidigt vedligehold, ejendomsværdi, energibesparelse, sparede udgifter til skimmelrenovering samt bymiljø. Der er gennemført afprøvning af konceptet på en egnet etageejendom udpeget af AAB i samarbejde med arkitekt. Udførelsen følges tæt med bl.a. videodokumentation, måling af effekt og formidling af resultaterne. Målet for det energiteknologiske udbytte er en potentiel besparelse på i alt 2 PJ frem mod 2020. Det sker via: reduktion af kuldebroer ved facadeåbninger og etagedæk, øgning af isoleringslagets tykkelse og forbedring af lambda værdien af isolering. Målet for det kommercielle udbytte er, at det enorme renoverings- og vedligeholdelses efterslæb, som er dokumenteret i [C], omsættes i forretning for danske virksomheder, og for bygherrer, at store udgifter til skimmelrenovering kan undgås, samtidig med at ejendommenes værdi bevares eller øges.

Hovedaktiviteter

1.4 Project objectives

Hovedformålet var som nævnt at udvikle en metode til energirenovering af murede facader. Målgruppen er etageejendomme 1930-80. I perioden udvikler det murede byggeri sig fra tykke massive mure opmuret i svage kalkmørtler, til moderne slanke hulumure med trådbinder og stærke mørtler. Der ses også en stor variation i arkitekturen, fra bevaringsværdige

unikke byggerier til mere anonyme facader. En vigtig del af projektet har derfor været at skabe et værktøj for rådgivere og bygherrer til vurdering af den rigtige løsning for et givet byggeri. Projektet var planlagt i 6 arbejdsplaner, men overordnet har det bestået i 2 dele:

- Drøftelse og vurdering, samt udvikling af et vurderingsværktøj for rådgivere og bygherrer, af 4 scenarier for energirenovering af murværk.
- Udvikling, dokumentation og demonstration af et koncept med nedrivning af facaden

Vurderingsværktøj, bæredygtighed

For at kunne bevare eller endda øge bygningens værdi og bæredygtighed både i økonomisk, energimæssig og arkitektonisk henseende, skal der foretages en vurdering af materialer, arkitektur, etc etc.

En ikke ringe del af projektet har derfor bestået i indgående drøftelser projektpartnerne imellem, hvordan man bedst kan vurdere alle aspekter mht. bæredygtighed. Resultatet er blevet et vurderingsværktøj, som systematisk gennemgår en bebyggelse med hensyn til arkitektur, energi, materialer mv.

Selvom projektet udvikler en konkret løsning, har det for at kunne skabe dette værktøj været nødvendigt at forholde sig til flere mulige scenarier for energirenovering. Værktøjet omfatter således 4 overordnede scenarier (hver med underopdeling):

1. Urørt facade. Der foretages intet.
2. Udvendig efterisolering med teglskaller på isolering
3. Ny selvstændig skalmur udføres uden på den eksisterende facade, med isolering
4. Nedrivning af 1/2 sten fra facaden, isolering og opførelse af ny slank skalmur 78 mm

Der er foretaget LCA analyse af hver løsningstype, hvor der er taget udgangspunkt i "1 m² facade". Da en sådan analyse netop ikke kan tage hensyn til arkitektur eller tekniske udfordringer i den enkelte bygning, er LCA-analysen kun et fingerpeg til valg af løsning. Derfor er der udarbejdet et spørgeskema, som kommer omkring andre væsentlige forhold, så de mulige scenarier for en bygning kan vurderes i forhold til de ønsker og krav til bæredygtighed, som bygherren har.

Koncept

Konceptidéen blev udviklet og demonstreret for parcelhuse med hulmur i EUDP projekt nr. 64012-0112 "Nyt koncept til energirenovering af murede facader". For at kunne anvende konceptet til etageejendomme med massivt murværk skulle en række udfordringer imidlertid løses:

- En rationel metode til nedrivning af 1/2 sten fra massiv mur, som ikke skadede den bestående mur
- Statiske beregninger af væsentligt større kompleksitet, end til et parcelhus
- Mekaniske prøvning af det afstivende koncept "EPS-søjler" til ældre murværk opført med kalkmørtler, og med 1/1-stens bagmur.
- Udførelse i praksis.

Nedrivning blev testet og dokumenteret bl.a. ved opførelse af en række testmure i Teknologisk Instituts laboratorium. Murene blev opført med svage og stærke mørtler, og som massiv mur og massiv mur med faste bindere. Udfordringen var selvfølgelig at få klippet de sten over, som i forbandtet binder for- og bagmur sammen. Der blev udført forsøg med dels at skære, dels at hugge stenene over. Tidsforbruget og eventuelle skader på den resterende mur blev observeret. Konklusionen var, at ved faste bindere, kan disse ikke fjernes helt ind til bagmuren, da det vil give for store stabilitetsproblemer. Herudover kan sædvanligt murerværktøj anvendes til nedrivningen.

Der blev endvidere opmuret 3 etagehøje vægge i 1 1/2 sten med kalkmørtel, til mekaniske prøvning af EPS princippet, og til dokumentation af murværkets styrke under nedrivning. Således blev 1 murelement belastet til brud i intakt tilstand. 2 elementer blev afskrælet for 1/2 sten. Herefter blev 1 element brudbelastet efter nedrivning (dvs. som 1/1 stens væg) og endelig blev der etableret EPS-sandwich element med 78 mm ny mur på det sidste element, inden dette blev brudbelastet. Resultaterne af disse forsøg dokumenterer de statiske beregninger af demonstrationsprojektet, og i projekteringsvejledning.

Der viste sig store udfordringer med at finde en egnet bygning til demonstrationsprojektet. Der var ikke afsat midler til en hel ejendom, idet forventningen var, at man kunne udføre en enkelt opgang eller lignende. Konceptet muliggør jo en "usynlig" overgang til det ikke-renoverede murværk. Dette var dog ikke interessant for nogen bygherre. Endelig viste der sig en løsning i en eksisterende renoveringssag hos projektpartneren Enemærke og Petersen. Rødovre Boligselskab var i gang med at energirenovere en afdeling i Rødovre, med udvendig mineraluldsisolering, puds og herefter opsætning af teglskaller. Boligblokkene er opført i 1940'erne, og med opsætning af teglskaller opnåede man samme forbandt og detaljer, som før renoveringen. Her fik projektet lov at anvende konceptet på et fælleshus i to etager. Således var der også mulighed for at sammenligne de to scenarier visuelt.

Der blev udført forundersøgelser, for at fastlægge materialestyrker og konstruktioner som grundlag for projektering af energirenoveringen. En vigtig læring var her, at forundersøgelserne skal mere omfattende end forventet, idet ældre bygninger ikke er helt "forudsigelige" i byggeteknikken. Massiv mur og massiv mur med bindere veksler, og der er anvendt forskellige materialer og murtykkelser i bagmuren. Man kan heller ikke regne med, at de faste binderkolonner er lodrette eller regelmæssigt placeret.

Projekteringen måtte derfor tilrettes noget undervejs. Det krævede en ret stor indsats at komme igennem alle beregninger mv. Men på grund af de forskellige forhold i fælleshuset, udgør projekteringen dermed et katalog over forskellige udfordringer og hvordan de kan projekteres og løses. Det gælder både konstruktionsdetaljer og statiske beregninger.

Det krævede et nært samarbejde mellem ingeniører, arkitekt og entreprenør at løse de mange konstruktionsdetaljer, afstivning, eliminering af kuldebroer mv. Selve udførelsen bød herefter håndværksmæssigt ikke på større udfordringer, end en dygtig murerentreprenør kan løse. Der blev udført interims afstivning med stålprofiler før nedrivning. Disse blev anbragt, så både nedrivning og opmuring kunne foregå, inden afstivningen blev fjernet igen. Der var adgang til bygningen under hele renoveringen, dog ikke til 1. salen efter nedrivning og indtil EPS-søjler var etableret.

Det færdige resultat blev yderst tilfredsstillende – forstået på den måde, at man ikke kan se, at der er foretaget en ændring, hvis man ikke ved det! De energimæssige og komfortmæssige resultater kan først vurderes efter projektet.

1.5 Project results and dissemination of results

Resultatet af projektet består kort sagt i:

Fælleshus i Rødovre Boligselskab er facade- og energirenoveret med konceptet

Der er udarbejdet følgende vejledninger:

- **Vurderingsværktøj** for etageejendomme. Tjekliste og vejledning til valg af energirenoveringsmetode, ud fra 4 scenarier
- **Vejledning i praktiske forundersøgelser.**
En praktisk vejledning med eksempler fra forundersøgelserne i Rødovre. Metoder og tjeklister
- **Projekteringsvejledning,**
Energirenovering af muret etagebyggeri. Den overordnede vejledning i projektering af projektets koncept.
- **Eksempel på projektering:**
Beregning af fælleshus mht. til energirenovering. Fælleshus, Birkmosevej, Rødovre.
- **Case beskrivelse,** demonstrationsprojekt fælleshus Rødovre. Casen beskriver trin for trin hvordan demonstrationsprojektet blev gennemført.

De tekniske resultater består i udviklingen af selve konceptet for energirenovering af hulmure, med en ny slank teglfacade. Der er tale om en kombination af kendt teknologi, hvor ud-

fordringen har været at undersøge at det rent statistisk og udførelsesmæssigt var praktisk og økonomisk muligt at gennemføre, og at man kunne opnå de ønskede lave U-værdier, samt eliminere kuldebroerne i det massive murværk.

Dette er lykkedes.

Projektet må dermed siges at være en succes i forhold til målsætningen.

Projektet er iht. planen afsluttet med brugbare værktøjer og vejledninger for såvel bygherre, rådgivere og udførende. Løsningen er endvidere dokumenteret med laboratorieforsøg og praktisk demonstration.

Partnerne kan ved projektets slutning endnu ikke registrere øget omsætning eller medarbejderstab. Det bør også noteres, at projektets resultater stilles offentligt til rådighed, således at den samlede økonomiske effekt skal findes hos en langt bredere kreds af virksomheder.

1.6 Utilization of project results

De overordnede energipolitiske mål for perioden 2006-2020 er at reducere bruttoenergiforbruget med 4 % til 820 PJ. I Energistyrelsens publikation "F&U 2005-2015 Energieffektive Teknologier – Strategi, er der anført et besparelspotentiale for bygningers klimaskærm på 40 % af 81,4 PJ, det vil sige 32 PJ. Projektet understøtter de politiske målsætninger ved at realisere en del af dette besparelspotentiale.

Det energiteknologiske mål er at nå de besparelspotentialer, som er beskrevet i [C], idet scenarie C, hvor 85 % af ydervægge forbedres, muliggøres. Her kan der for etageboliger realiseres en samlet energibesparelse på 31,2 PJ. I [B] anføres, at 28 % af varmetabet i etageboliger sker gennem ydervæggene (eksklusive vinduer). Der kan derfor anslås et potentiale på 28 % x 85 % af den mulige totalbesparelse, det vil sige ca. 7,4 PJ for hele målgruppen af etageejendomme. Betragtes andelen af ejendomme fra perioden 1930-60, som stort set alle er murede, og medtages halvdelen af ejendommene fra 1960-80, vurderes det i [C], at disse ejendomme udgør ca. 45 % af det samlede energibesparelspotentiale for etageboliger.

Overføres dette forhold til facaderenoveringerne, skulle det være muligt at nå en besparelse på 3,3 PJ, samlet set. Baseret på erfaringer med, at energirenoveringer ofte omsættes i øget komfort, og med viden om, at en del beboere i lejligheder sparer kraftigt på varmen med skimmelskader til følge, anslås konservativt en potentiel energibesparelse på ca. 2 PJ for den aktuelle målgruppe af ejendomme.

Konceptet har potentiale til at bidrage væsentlig til opnåelse af målsætningen, således 2 PJ af 32,8 PJ frem til 2020, eller 6 % af målet. I fremtiden vil el-produktion ikke være baseret på fossile brændstoffer og derfor vil fjernvarme – kapaciteten i Danmark gradvist reduceres, hvilket harmonerer med en udbygning af energirenoveringen af den gamle boligmasse. Det anses for muligt at realisere potentialet frem mod 2020. Det skal nævnes, at konceptet ikke skal betragtes som en løsning, der er egnet for alle typer af ejendomme, men at det er en løsning, som i visse tilfælde vil være den eneste mulige af bl.a. arkitektoniske hensyn. Derfor er det et vigtigt supplement til paletten af muligheder for at energirenovere det murede byggeri med respekt for historie, arkitektur og materialer.

1.7 Project conclusion and perspective

Energieffektive teknologier spiller en væsentlig rolle i bestræbelserne på at frigøre Danmark fra fossile brændsler. Dette projekt relaterer sig til indsatsområdet inden for det ene af de 3 overordnede områder:

Bygningers varmemeforbrug. Særligt indenfor de eksisterende bygninger er potentialet meget stort.

Dette projekt bidrager til strategien om udvikling af bedre klimaskærm (vægge, vinduer, tag mv.) hvorved der kan opnås betydelige energibesparelser og øget komfort. Det primære marked for den løsning, som udvikles, er murede etageejendomme, men konceptet kan anvendes til murede bygninger til alle formål, herunder boliger, institutioner og erhverv, og er dermed i overensstemmelse med strategien. Facaderne fremhæves af ELFOR som en afgørende "krumtap" i bygninger, der har stor indflydelse på bygningens samlede energiforbrug. Her rammer projektet behovet for at udvikle bedre komponenter og løsninger, som væsent-

ligt kan reducere ekstraomkostningerne ved energirigtige renoveringer. Udover en reduktion af energiforbruget vil konceptet også gavne indeklimaet: den effektive fjernelse af kuldebroer mindsker risikoen for skimmel.

Nærværende projekt vurderes at relatere sig til strategien ved at medvirke til at muliggøre energibesparelser til opvarmning i størrelsesordenen 2,35 PJ pr. år, og dermed sikre en høj energiforsyningsikkerhed
øge den økonomiske vækst ved at igangsætte renoveringer på et område med stort renoverings efterslæb

sikrer konkurrencedygtige priser ved at udvikle et effektivt leverings- og forretningskoncept tæt samarbejde mellem videns- og forskningsmiljøet og erhvervslivet

Projektet vil forbedre det eksisterende byggeri, som har et stort renoveringsefterslæb, og holdbarhed, bæredygtighed og æstetik er indtænkt i den udviklede løsning.

Demonstrationsprojekt er en vigtig del af formidlingen, som viser arkitekter og bygherrer, hvor energieffektivt og samtidig funktionelt og æstetisk, energirenovering af en muret facade kan udføres. I den forbindelse er det værd at nævne, at der tidligere er udført energirenoveringer ved nedrivning af 1/2 sten fra facaden. Dette konstaterede projektgruppen fra projektets begyndelse. Men af de eksempler, som fandtes, var det ikke muligt at finde nogen form for dokumentation af udførelse og statik. Det foreligger der nu, således at der er tale om et brugbart koncept med konkrete vejledninger.

Annex

Kilder nævnt i ovenstående:

[A.] Kend dit etagehus. Dansk Bygningsarv A/S,

[B.] Arkitektur og energirenovering. Det murede etagebyggeri fra 1920 til 1960. DAC 2011

[C.] Hvidbog om bygningsrenovering. Bygherreforeningen og GI, 2010

Relevant links

- www.mur-tag.dk, Teknologisk Institut for Kalk- og Teglværksforeningen
- www.byggeriogenergi.dk (Videncenter for energibesparelser i bygninger)