

Hur gör man bostadshusen i Bam jordbävningresistenta?

- *En studie om bostäder i fattiga och
jordbävningdrabbade regioner i Iran*



LUNDS
UNIVERSITET

Lunds Tekniska Högskola

LTH Ingenjörshögskolan vid Campus Helsingborg
Byggt teknik med arkitektur

Examensarbete:
Samad Kohi

© Copyright Samad Kohi

LTH Ingenjörshögskolan vid Campus Helsingborg
Lunds universitet
Box 882
251 08 Helsingborg

LTH School of Engineering
Lund University
Box 882
SE-251 08 Helsingborg
Sweden

Tryckt i Sverige
Media-Tryck
Biblioteksdirektionen
Lunds universitet
Lund 2010



**ROYAL INSTITUTE
OF TECHNOLOGY**

This study has been carried out within the framework of the Minor Field Studies Scholarship Programme, MFS, which is funded by the Swedish International Development Cooperation Agency, Sida.

The MFS Scholarship Programme offers Swedish university students an opportunity to carry out two months' field work, usually the student's final degree project, in a country in Africa, Asia or Latin America. The results of the work are presented in an MFS report which is also the student's Bachelor's dissertation or Master of Science Thesis. Minor Field Studies are primarily conducted within subject areas of importance from a development perspective and in a country where Swedish international cooperation is ongoing.

The main purpose of the MFS Programme is to enhance Swedish university students' knowledge and understanding of these countries and their problems and opportunities. MFS should provide the student with initial experience of conditions in such a country. The overall goals are to widen the Swedish human resources cadre for engagement in international development cooperation as well as to promote scientific exchange between universities, research institutes and similar authorities as well as NGOs in developing countries and in Sweden.

The International Office at KTH, the Royal Institute of Technology, Stockholm, administers the MFS Programme for the faculties of engineering and natural sciences in Sweden.

Sigrun Santesson
Programme Officer
MFS Programme

KTH, SE-100 44 Stockholm. Phone: +46 8 790 6000. Fax: +46 8 790 8192.

E-mail: sigrun@kth.se

www.kth.se/student/utlandsstudier/examensarbete/mfs

Sammanfattning

Den iranska staden Bam drabbades av en kraftig och ödesdiger jordbävning den 26 december 2003 som resulterade i att hela staden ödelades och tiotusentals av stadens invånare omkom. Det faktum att jordbävningen inträffade 05.26 på morgonen i kombination med traditionellt byggda bostadshus med lera som huvudmaterial var de främsta anledningarna till den höga dödssiffran och förstörelsen i staden. Okvalificerad arbetskraft i byggprocessen, boende som själva bygger sina hus utan tillräckliga kunskaper om jordbävningar i kombination med lera, med alla nackdelar, som ett vanligt byggnadsmaterial utgör tillsammans ingredienserna för enorma katastrofer som oftast drabbar de allra fattigaste. Dessa hus är oftast byggda för statiska förhållanden för att främst klara av vertikala tryckkrafter och är således inte byggda för att klara av horisontella rörelser i marken som uppstår under jordbävningar. Men människan har använt sig av detta material så långt som man kan gå tillbaka i historien och det är i många delar av världen, precis som det var i Bam och omkringliggande byar före jordbävningen, ett material som fortfarande utgör huvudmaterialet. Det är materialets lättillgänglighet, ekonomiska fördelar samt dess enkla tillverkningsprocess som gör det till förstahands valet för många. För människor med knappa ekonomiska resurser är det lätt att materialets fördelar överskuggar dess nackdelar. Men det var inte endast enkla lerhus som raserades utan även nybyggda och dessutom viktiga betong- och stålhus och detta visar det faktiska problemet i Iran. Problemet i Bam var inte begränsat till endast byggnadsmaterialens egenskaper eller hus för fattiga människor utan jordbävningen i Bam belyste ett större problem i Iran, ett problem som påverkar alla människor i det iranska samhället rika som fattiga.

Nyckelord: Jordbävningar, Iran, Bam, jordbävningssäkra hus, lerhus

Abstract

On the 26 of December the Iranian city of Bam was hit by a strong and disastrous earthquake which devastated almost the entire city and killed tens of thousands of people. The fact that the earthquake occurred 05.26 in the morning and in combination with traditionally built residential buildings with clay as the primary building material was the main reasons for the high death toll and the destruction in the city. In countries where poor labour are used in the construction process or when the inhabitants themselves build their own house without sufficient knowledge about earthquakes at the same time as clay with all of its disadvantages is a common building materials are together the ingredients for devastating disasters and mostly affects the poorest. These buildings are usually built for static conditions and mainly to cope with the vertical compression forces and are in many cases not built to handle horizontal movements in the ground. But man has used this material as far as we can go back in history and is in many parts of the world still very common, just as it was in Bam and the surrounding villages before the earthquake. It is the materials accessibility, economic benefits and its simple manufacturing process which makes this material to number one choice for many and for the poor the benefits overshadows the disadvantages. But it was not only simple clay buildings which collapsed but also newly built and in addition important concrete and steel constructions and this shows the actual problem in Iran. The problem in Bam was not limited to only material characteristics or limited to buildings for the poor people but the earthquake in Bam highlighted a greater problem in Iran, a problem which includes all social classes of the Iranian society.

Keywords: Earthquakes, Iran, Bam, earthquake resistant buildings, earthquake safe buildings, adobe constructions.

Förord

Jag vill främst tacka min morbror Hossein Kohigoltapeh för all hjälp i Iran. Utan dig så hade denna studie aldrig kunnat genomgöras. Jag vill även tacka mina handledare Laura Liuke och Johnny Åstrand som hjälpt mig med tankar och funderingar runt mitt arbete och inte minst för allt tålamod. Sist men inte minst vill jag även tacka Sigrun Santesson och KTH som trodde på min studie och beviljade mig ett MFS stipendium. Tack alla personer som hjälpt mig, stöttat mig och lyssnat på mina idéer och funderingar.

Tack så mycket

Samad Kohi

Innehållsförteckning

1	Introduktion	1
1.1	Bakgrund	1
1.2	Syftet med studien	3
1.3	Problemformulering	3
1.4	Metod	3
1.5	Fakta om Iran	4
1.6	Historia	4
2	Jordbävningar	6
2.1	Vad är en jordbävning	6
2.2	Hur mäter man styrkan i en jordbävning	6
2.3	Går det att förutspå jordbävningar	7
2.4	Jordbävningar i regionen	7
3	Grundläggande jordbävningresistent design	9
3.1	Jordbävningfilosofi	9
3.1.1	Riktlinjer	9
3.2	Tröghetskrafter	10
3.2.1	Tröghetskrafter	10
3.2.2	Tröghetskrafter genom husets alla delar	11
3.2.3	Jordbävningsskrafter på fristående väggar	12
3.2.4	Två väggar med tak	13
3.2.5	Fyra väggar utan tak	13
3.2.6	Fyra väggar med tak	14
3.2.7	Box-effekten	14
3.2.8	Horisontella och vertikala band	15
3.2.9	Vertikal armering	16
3.2.10	Horisontella och vertikala band vid öppningar	17
3.2.11	Storleken på öppningar	17
3.3	Symmetri	18
3.3.1	Symmetri i väggar	20
3.3.2	Symmetri i plan	21
3.3.3	Symmetri i elevation	21
3.3.4	Hus på ojämn mark	23
3.3.5	Öppna våningar	24
3.4	Hus av tegel och lera	25
4	Iran	27
4.1	Byggnaderna i Iran	27
4.2	Bam	27
4.2.1	Takkonstruktioner i Bam	27
4.2.2	Historisk utveckling av konstruktioner	28
4.2.3	Traditionella valv- och kupoltak	30

4.2.4	Valvtak	31
4.2.5	Tegelblock av betong eller bränd lera	33
4.3	Skadorna i Bam och Baravat	34
4.4	Byggnader i Bam	35
4.4.1	Hustyp	35
4.4.2	Lerhus	35
4.4.3	Tegelhus	37
4.4.4	Stålhus	40
4.4.5	Betonghus	44
4.5	Samhällsviktiga konstruktioner	46
4.5.1	Sjukhus	46
4.5.2	Elstolpar	49
4.5.3	Skolor	50
4.5.4	Räddningstjänst	51
4.5.5	Tempel	52
	<i>Moské Abolfas</i>	<i>53</i>
4.5.6	Kommunikation och transport	55
4.5.7	Flygplats	55
4.5.8	Vattenkanaler, Qanats	56
4.6	Övriga byggnader	57
4.7	Arg-e-Bam	58
4.8	Statistik	60
4.8.1	Bam och Baravat	60
4.8.2	Jordbävningen i jämförelse	62
4.9	Iranska byggnormer	62
4.9.1	Historia	62
4.9.2	Tillämpningen av iranska byggregler på landsbygden	62
5	Utvärdering av situationen i Bam och Iran efter jordbävningen	63
5.1	Sammanfattning av skadorna i Bam och Baravat	63
5.1.1	Tegelhus och lerhus	63
5.1.2	Hus med stålstomme	64
5.1.3	Betonghus	64
5.1.4	Viktiga byggnader	64
5.1.5	Analys av bristerna	64
5.2	Efter jordbävningen	65
5.2.1	Jordbävningsmedvetandet i landet och iranska byggnormerna	65
5.2.2	Ekonomiska förlusterna	66
5.2.3	Bam och Baravat idag	67
5.3	Framtiden	70
5.3.1	Åtgärder	70
5.3.2	Utvecklingen av Iranska byggnader	71
5.3.3	Lärdomarna från jordbävningen i Golbaf	73

5.3.4 Byggnader i andra delar av landet.....	74
5.3.4.1 Kerman.....	74
5.3.4.2 Ajabshir	75
5.3.4.3 Anslutande byar till Ajabshir.....	81
5.3.4.4 Miljonstaden Tabriz.....	82
5.3.4.5 Jordbävningresistenta bostadshus i Peru.....	84
6 Avslutande tankar	84
7 Litteratur och källor	86
Appendix	88
Balkar	90
Pelare	91
Väggdimensioner för tegelhus	95

1 Introduktion

1.1 Bakgrund

Den 26 december 2003 var dagen då den gamla ökenstaden Bam drabbades av en kraftig jordbävning som ledde till att tiotusentals människor miste livet och Bam och de omkringliggande byarna i stort sett ödelades. Jordbävningens resultat blev tiotusentals människors död, tiotusentals kollapsade byggnader, hundratusentals hemlösa och kan därför räknas med bland de värsta katastroferna i Irans historia. Omkring 90 procent av byggnaderna i Bam fick 60 till 100 procentiga skador, största sjukhuset i Bam samt 24 vårdcentraler i Bam och omkringliggande byar totalförstördes likaså den gamla ökända Citadellet *Arg-Bam*. Jordbävningens resultat var enorma och nådde toppen av Mercalli-skalan och hela det iranska samhället chockades av jordbävningens omfattning. En sådan förödelse och stora förluster i människoliv kan endast förklaras med dåliga byggmetoder i ett samhälle präglad av gamla byggtraditioner som utvecklats långsamt och inte anpassats till moderna byggmetoder och material och där det är en tradition att bygga sitt eget hus. Ett hus som till största delen är byggt av lera eller lertegel utan stålarmade horisontella eller vertikala band eller annan form av jordbävningssystem är otillräcklig för att stå emot en kraftigare jordbävning.

Historien har visat att de flesta människor har antingen dött eller skadats allvarligt på grund av användandet av traditionella material som lera och lertegel i byggnader som byggts av de boende dem själva med traditionella byggmetoder utan kunskaper om jordbävningssystem. Bristen på tillräckliga tekniska kunskaper och knappa ekonomiska resurser i samband med ett oorganiserat byggsystem där byggregler inte fullt följs är ingredienserna för stora katastrofer och drabbar främst de allra fattigaste.

Jordbävningssystem har felaktigt stämplat som en alldeles för hög merkostnad för de fattiga. Ingenjörerna från *Catholic University of Peru* har utvecklat system som till och med de allra fattigaste har råd med och som skulle kunna förhindra humanitära katastrofer som den i Bam. Bristen på finansiella resurser i fattiga länder och hos fattiga människor gör det omöjligt att bygga jordbävningssäkra hus, men det är en skillnad mellan jordbävningssystem och jordbävningssäkra hus. Det är inte möjligt göra små bostadshus i Bam jordbävningssäkra då ett sådant hus skulle bli alldeles för robust och dyr.

Kraftiga jordbävningar i regionen måste vara ovanligt då Citadellet med sina 2500 år i nacken klarade sig bra fram till 2003. Ska man bygga dyra jordbävningssäkra bostadshus när det är så ovanligt med jordbävningar

regionen? Att bygga jordbävningssäkert i alla lägen är inte hållbart och dessutom inte praktiskt möjligt. Det måste finnas en fungerande jordbävningsfilosofi som kan tillämpas i praktiken. Ett litet bostadshus bör därför byggas så att skadorna från kraftiga jordbävningar minimeras så långt som möjligt, att man undviker att huset kollapsar helt eller bygger så att de boende hinner ta sig ut ur huset innan en kollaps. Människor är den största resursen och ska därför i första hand skyddas. Men det finns byggnader som är viktigare än andra på grund av dess kritiska roll i samhället och måste vara funktionsdugliga även efter en jordbävning. Det är byggnader som sjukhus, brandstationer, församlingssalar, skolor, tempel, kraftverk, dammar och kärnkraftsanläggningar. Dessa byggnader ska stå emot jordbävningar och ska byggas av experter.

Jordbävningen som drabbade Bam och de omkringliggande byarna förstörde allt i sin väg även de viktiga byggnaderna som sjukhus. Omfattningen av skadorna i Bam ger en bra bild av hur dåligt förbered det iranska samhället är mot kraftiga jordbävningar. Majoriteten av husen i Bam var av obränt lertegel och dessa hus är på grund av materialets tunga och kompakta egenskaper och materialets känslighet för dragkrafter ett särskilt sårbart material för jordbävningar. Från bilderna som sändes ut till världen via media så kunde man se att det var många olika typer av byggnader som kollapsade och inte bara lerhus; det var allt från gamla byggnader till nya. Problemet i Bam kan därför inte vara begränsat till endast materialens egenskaper. När till och med byggnader som stadssjukhuset, polisstationer och andra viktiga byggnader kollapsar under en jordbävning på 6.6 i richterskalan så är det inte längre ett problem som är begränsat till materialens beteende och design eller byggnaderna i en liten stad med fattiga människor, detta måste istället tolkas som ett stort nationellt problem som berör alla i samhället rika som fattiga. Viktoria Atabaki från *United Nations Development Programme* (UNDP) skrev "*The Bam reconstruction programme has the potential to become a successful recovery programme, in that it not only has enhanced standards of earthquake safety in Bam but safety standards have been raised in other areas of Iran,*" Ett av målen med denna studie är att ta reda på ifall det skett några förändringar på de nybyggda byggnader i Bam och om byggnormerna i Bam verkligen förändrats till det bättre.

Vidare ska denna studie undersöka om dessa förändringar i Bam spridits till andra delar av landet. I ett land där 50-55 procent av befolkningen lever i rurala samhällen som den i Bam och där en stor del av befolkningen är fattiga så kommer lera som byggmaterial, på grund av dess ekonomiska fördelar, fortfarande var väldigt vanligt byggmaterial. När betongbyggnader rasar så förstår man enkelt att problemet inte endast är ett ruralt problem utan även ett urbant. Vissa experter hävdar att Irans huvudstad Tehran med en befolkning

på 12 miljoner och center för alla de viktigaste myndighetsbyggnaderna kommer i den närmsta framtiden att utsättas för en väldigt kraftig jordbävning. En sådan jordbävning skulle inte bara leda till många människors död utan kan även förstöra Iran som en nation.

1.2 Syftet med studien

Det övergripande syftet är att studera olika konstruktioners beteende och brister under kraftiga jordbävningar med fokus på små bostadshus i fattiga länder. Vidare ska det undersökas vad man ska ta hänsyn till i planeringsstadiet för att göra bostadshusen så jordbävningssresistenta som möjligt och vilken design som är den mest effektiva. I denna studie studerar jag små bostadshus i Iran och särskilt byggnaderna i staden Bam i syfte att ta reda på hur dessa byggdes innan jordbävningen och jämföra dem med husen byggda efter jordbävningen. Vidare analyseras hur återuppbyggnaden har gått till och vad som gjorts i staden för de överlevande. Målet med denna studie är att läsaren förstå hur jordbävningar påverkar olika byggnader och vilka åtgärder man ska vidta för att skydda huset och de boende. Eventuella förändringar i Bam ska undersökas samt om dessa förändringar spridits till andra delar av landet. Bam ska dessutom jämföras med Ajabshir, en stad som ligger på andra sidan om landet men är liksom Bam en fattig liten stad i en region som utvecklats långsamt jämfört med de större städerna i respektive regioner. Likheterna mellan Bam och Ajabshir är många och eventuella förbättringar av husen i Bam måste alltså även tillämpas i Ajabshir.

1.3 Problemformulering

- Hur uppträder huset när det utsätts för kraftiga vibrationer samt hur kommer dessa krafter att fördelas i huset?
- Vilka förändringar har genomförts i Bam efter jordbävningen?
- Har byggstandarden i Iran förändrats? Vilka är de direkta effekterna av dessa förändringar på landsbygden?

1.4 Metod

Denna studie har delats upp i två delar där den första delen handlar om grunderna till jordbävningssresistenta hus och hur dessa ska designas på bästa möjliga sätt. Det är främst genom litteraturstudier och intervjuer. Den andra delen består av själva fältanalysen där besök har gjorts i Bam samt några andra liknande små städer runt om i Iran, detta för att jämföra dem med varandra och ge en övergripande utvärdering huruvida iranska byggnader är jordbävningssresistenta och om de kan stå emot kraftiga jordbävningar och undvika katastrofer som den i Bam.

1.5 Fakta om Iran



Fig. 1. Iran (Wikipedia)

Region	Mellanöstern
Grannländer	Afghanistan, Pakistan, Irak, Turkiet, Azerbadjan, Armenien och Turkmenistan
Befolkning	70 472 846 (2007)
Huvudstad	Tehran
Största stad	Tehran, 13 413 348 invånare
Provinser	30 st.
Officiellt språk	Persiska
Dominerande språk	Persiska, azeri, arabiska, kurdiska, afghanska
Religion	Islam (98 %) varav 90 % shia
Yta	1 648 195 km ² (18e störst i världen)
Styre	Islamisk Republik sedan 1979
Ekonomi (BNP)	816,328 miljarder dollar (2008, 18e störst i världen)
Nationaldag	1 april (Islamska revolutionens utropande)

1.6 Historia

Iran tillhör gruppen av nationer från den antika världen och dess historia kan spåras tillbaka till en tid då organiserade samhällen började blomma för första gången och när människor började bilda städer och bygga storartade konstruktioner. Det är inte känt när perserna bildade sina kungadömen men många historiker är överrens om att Iran blev en världsmakt när de båda persiska provinserna Media och Fars blev till en nation omkring 500 f.Kr. Dessa två provinser hade även innan sammanslagningen en lång och rik historia som sträcker sig flera tusen år tillbaka i tiden.

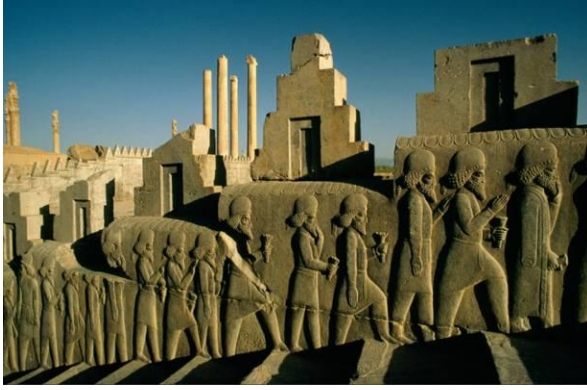


Fig. 2. Persepolis (National geographic)

Irans arv till världen vad gäller historia, kultur och grandiosa byggnadsverk är rik. Den gamla persiska huvudstaden Persepolis är med i UNESCO's världsarvlista och fungerade under flera hundra år som mellanösterns metropolis. Här byggde perserna sina mest storslagna och komplexa palats med många praktfulla dekorationer som än idag skådar om en tid då perserna var skickliga byggare. Det är värt att nämna att perserna möjligtvis byggde den första jordbävningresistenta byggnaden i historien. En av de största byggnaderna var församlingshallen, Apadana, med hela 72 massiva pelare var och en med en höjd på 19 meter. Den gamla kungen Darius lade grunden för Persepolis men bygget avslutades troligtvis av Xerxes. Stadens historia blev tyvärr inte långlivad utan den förstördes till grunden av Alexander den store när han och den grekiska armén invaderade Iran. Det som är kvar av den gamla Persepolis vittnar om persernas storhetstid och visar även hur skickliga de persiska byggarna var redan för tusentals år sedan.

Det finns dock flera städer i Iran där det byggts stora och komplicerade byggnader, städer som Bam. Bam ligger i sydöstra delen av landet, en av de största provinserna i Iran, Kerman provinsen. Det är ett litet jordbrukarsamhälle som ligger på den gamla silkesvägen och är känd för sina dadlar och citrusfrukter. Fram till 2003 var Bam även en stor turiststad på grund av att det moderna Bam omgav den gamla oskadade staden och det gamla Citadellet. Stadens historia sträcker sig tusentals år tillbaka i tiden med monument och konstruktioner från flera perioder av Irans historia och Bam har alltid varit en viktigt regional stad. Gamla staden och Citadellet var dessutom befolkad fram till för bara 150 år sedan. Det gamla Citadellet var världens största lerbyggnad och var listad i UNESCO's världsarvslista. Under modern tid upplevde Bam ett ekonomiskt uppsving och staden växte kraftigt när allt fler flyttade in till staden och var på väg att återigen bli ett ekonomisk centrum i Kerman provinsen. Men jordbävningen 2003 ödelade stora delar av det moderna Bam och förstörde i stort sett hela den gamla staden. Idag kämpar staden för att överleva och folket i Bam kämpar för att återuppta sina liv och ta sig igenom denna katastrof som än idag efter fyra år fortfarande är märkbar.

2 Jordbävningar

2.1 Vad är en jordbävning

Jordbävning innebär att marken rör sig och skakar kraftigt under förflyttningar i jordskorpan. Förflyttningarna uppstår på grund av aktiviteter inuti jordklotet där den heta och flytande magman i jordens inre ständigt är i rörelse.

Rörelserna i jordens inre skapar stora mängder energi och som laddas ur i form av rörelser på jordskorpan. De flesta rörelser sker i gränserna mellan de tektoniska plattorna. Plattorna är i ständig rörelse och dessa rörelser har skapat land och hav. Plattorna kan röra sig upp till flera centimeter per år och bildar enorma mängder av energi när de fastnar i varandra. Den energin urladdas endast genom att jordskorpan bryts sönder. Jordbävning är resultatet av denna urladdning. Det finns ett tjugotal plattor och såvitt man vet så har plattornas rörelseprocess pågått under jordklotets hela livstid. Plattorna rör sig så pass att dagens kontinenter inte är äldre än 250 miljoner år varav 70 procent är yngre än 250 miljoner år. Det finns tre typer av plattektioniska rörelser:

- Omvandlingsgränser - Plattorna glider längs varandra
- Divergerande gränser - Plattorna rör sig från varandra

Konvergerande gränser - Plattorna kolliderar och kan göra det på två sätt. Antingen kommer en lättare platta tryckas ned under en tyngre platta och smälta inuti jordklotet eller så kommer två lika tunga plattor att kollidera och bilda bergskedjor.

2.2 Hur mäter man styrkan i en jordbävning

Det vanligaste skalan man använder sig för att bedöma styrkan i en jordbävning är richterskalan. Skalan är logaritmisk vilket innebär att en jordbävning på 9,0 är trettiotvå gånger kraftigare än en jordbävning på 8,0 eller ungefär tusen gånger kraftigare än jordbävning på 7,0. Men richterskalan är endast ett geologiskt uttryck för hur kraftig jordbävningen är och ger inte någon information om vilka effekter jordbävningen haft på ett landskap eller ett samhälle. Ett bra exempel på detta är jordbävningarna som drabbade Bam och Kyushu, Japan. Japanska ön Kyushu drabbades av en jordbävning som var lika kraftig som den i Bam men skillnaden var att det resulterade inga dödsoffer och inga omfattande skador medan den i Iran totalförstörde Bam och omkringliggande byar. Detta är anledningen till varför man använder sig av *Modified Mercalli Intensity Scale* (MM). Med Mercalli-skalan mäter man jordbävningens omfattning utifrån de skador som förorsakas på städer, människor och landskap. Skalan har 12 steg där steg 1 knappt noteras och där steg 12 är kraftiga och förödande jordbävningar. Jordbävningen som drabbade Bam kan klassas som 9+ i Mercalli-skalan.

2.3 Går det att förutspå jordbävningar

Antalet jordbävningkatastrofer runt om i världen visar att många länder fortfarande inte har resurser att förutse jordbävningar tillräckligt noga i syfte att undvika människoförluster. Forskare från många länder arbetar med att hitta metoder som kan förutsäga jordbävningar strax innan det inträffar. Med dagens teknik så vet man var en jordbävning kommer att inträffa och hur kraftig den kan bli men man har svårt för att veta exakt när den ska inträffa och det är just detta som är målet. Vissa länder som Japan och Island har kommit långt inom jordskalvsvarningar och de kan idag kan förutse jordbävningar med upp till halv minut innan det inträffar. Alla länder i världen har inte samma resurser. Det finns flera metoder som forskarna arbetar med, metoder som deformationsmätning i rörelsezoner, mätning av elektromagnetiska fenomen som kan uppträda före en jordbävning, och mätning av spänningar i jordskorpan. Svenska forskare har tillsammans med isländska forskare genomfört tester av metoden att mäta spänningar i jordskorpan och med resultat är att de har kunnat förutse exakt när en jordbävning ska inträffa. Men metoden är fortfarande i forskningsstadiet och har ännu inte nått länder som Iran.

2.4 Jordbävningar i regionen

För att förstå de geologiska rörelserna i Kerman provinsen så måste man först förstå regionens plattor och dess rörelser. Den iranska plattan sitter ihop med den europeiska plattan och kolliderar med de arabiska och indiska plattorna. Den arabiska plattan rör sig i en nordöst riktning med en hastighet på ca 30 mm/år och kolliderar med den iranska plattan i en sträcka på nästan ett tusen kilometer. Den arabiska plattans kollision med den iranska plattan är av en konvergerande rörelse varvid den arabiska plattan trycks under den iranska plattan. Det har lett till att den iranska plattan pressas ihop vilket skapat massiva berg som Zagros bergen. De farligaste och häftigaste rörelserna sker i de många olika förskjutningarna inåt i landet. Dessa förskjutningar står för de kraftigaste jordbävningarna och i Kerman provinsen så har dessa förskjutningar lett till många stora katastrofer som den i Bam. Trots att förskjutningen som ligger mellan Bam och Baravat historiskt sett inte utlöst några större jordbävningar så har de övriga förskjutningar som ligger strax norr och söder om Bam skapat kraftiga jordbävningar och ödelagt många städer och byar genom historien. Bara under de senaste trettio åren så har det inträffat tre större jordbävningar i regionen med en magnitud som varit minst lika kraftig som den som inträffade i Bam. Historiskt sett så har dessa förskjutningar varit väldigt aktiva och har skapat större jordbävningar under en väldigt lång tid och jordbävningarna i Gowk förskjutningen respektive Golbaf förskjutningen i 1981 orsakade tusentals dödsoffer och stor förödelse i regionen. Jordbävningar är alltså väldigt vanliga i regionen eftersom arabiska

plattan trycker på från söder, indiska plattan trycker på från öst och den iranska plattan rör sig i en nordostlig riktning.

Jordbävningen i Bam inträffade ungefär ett hundra kilometer söder om jordbävningarna i Gowk och Golbaf förskjutningarna i 1981, och dess epicentrum var precis under staden. Förskjutningen låg precis mellan Bam och Baravat och avståndet mellan dem är mindre än två kilometer. Undersökningar genomförda av iranska *International Institute of Earthquake Engineering and Seismology* (IIEES) efter jordbävningen visade att det även fanns en dold förkastning i centrala Bam. Amerikanska *U. S Geological Survey* (USGS) mätte jordbävningstyrkan till 6.6 magnitud i richterskalan vilket gör den till det starkaste jordbävningen som drabbat Bam på åtminstone 2500 år. Iranska myndigheter beräknade antalet drabbade till 200 000 människor i staden Bam samt omkringliggande byar. Jordbävningen var remarkabel på många sätt men ett av de märkligaste resultaten från jordbävningen var att antalet döda översteg antalet skadade och därmed gjorde omfattningen av effekterna på befolkningen något unikt. Detta beror främst på bristerna i bostadshusen samt att jordbävningen inträffade tidigt på morgon när folk var hemma och sov. Enligt iranska beräkningar så befann sig 90 procent av befolkningen i Bam i hus som kollapsade helt.

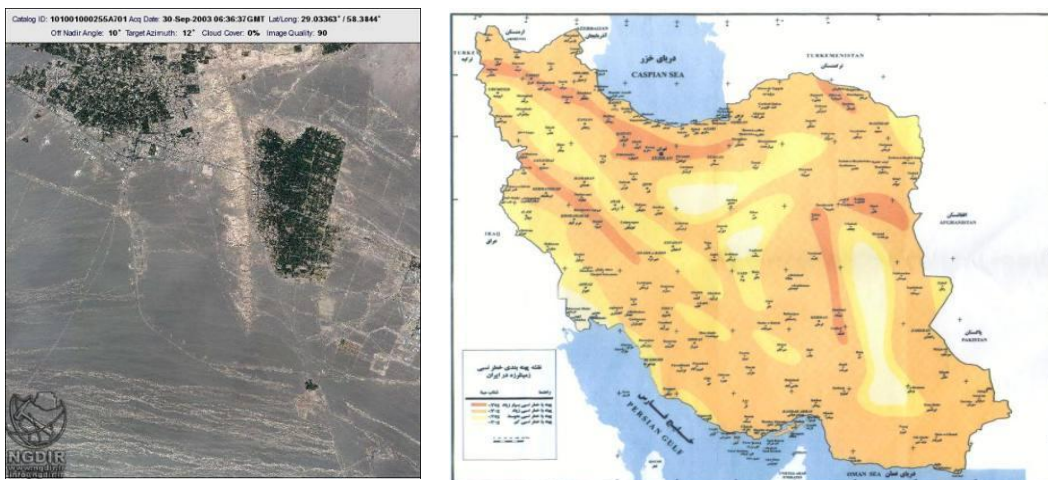


Fig. 3. Satellit bild på förkastningen i Bam (IIEES). Förkastningen ligger precis mellan Bam (längst upp till vänster) och Baravat (gröna området till höger). (IIEES)

3 Grundläggande jordbävningssäkert design

3.1 Jordbävningssäker design

För att man effektivt ska reducera jordbävningseffekterna på konstruktioner och samhället så måste samhället upprätthålla en fungerande och praktisk jordbävningssäker design. Detta är grunden för att uppnå ett hållbart samhälle som kan vara fungera normalt även efter eventuella katastrofer. När det gäller att bygga bostadshus i fattiga samhällen så ska man sträva efter att bygga hus som kan stå emot en jordbävning under tillräckligt lång tid så de boende hinner ta sig ut i säkerhet. Människan är den största resursen som måste skyddas och ska därför prioriteras högre än allt annat.

I fattiga jordbävningssänkta länder som till exempel Iran så kan man inte bygga helt jordbävningssäkra bostadshus utan man ska sträva efter att bygga dessa hus så att de har så stor motståndskraft som möjligt. För att kunna uppnå detta mål kommer betydelsen av de ekonomiska, materiella samt tekniska färdigheter ha väsentlig betydelse. Att bygga ett bostadshus på den iranska landsbygden för vanligt folk som helt och hållet är jordbävningssäkert är inte ekonomiskt hållbart, med hänsyn till ett hus livscykel, och dessutom inte praktiskt och ska därför uteslutas. Ständiga renoveringar skulle bli alldeles för kostsamma eftersom ett jordbävningssäkert hus är alldeles för robust och komplicerat och de boende skulle bli tvungna att anlita hantverkare för att genomföra dessa renoveringar. Man ska därför sträva efter att bygga ett hus som är så jordbävningssäkert som möjligt med hänsyn till de boendes ekonomiska förhållanden samt de materiella resurserna i området och tekniska färdigheterna. Det finns dock konstruktioner som är oerhört viktiga för ett samhälle och som måste vara funktionsdugliga även efter den kraftigaste jordbävningen och dessa konstruktioner bör därför prioriteras högre än vanliga bostadshus. Det är konstruktioner som sjukhus, polisstationer, dammar, kärnkraftverk, församlingslokaler, skolor och universitet, tempel, flygplats, elledningar samt andra konstruktioner som är livsviktiga för samhällets funktion.

3.1.1 Riktlinjer

Följande riktlinjer måste formuleras för att uppnå jordbävningssäker design:

- 1 Undvika kollaps: En jordbävning ska inte utsätta ett vanligt hus för 100 procentig kollaps eller kollaps i bärande delar av huset.
- 2 Begränsning av skador: Huset ska inte utsättas för oreparerbara skador utan skadorna ska minimeras så långt som möjligt för att huset kunna vara funktionell även efter jordbävningen.
- 3 Prioritering av bärande delar: Ett hus stabilitet ska inte vara beroende av en pelare eller en vägg för att vara jordbävningssäkert utan ska stå kvar

även om ett par pelare kollapsar. Pelare ska skyddas före balkar. Kollaps i en pelare påverkar hela huset medan en kollapsad balk endast är en lokal skada.

- 4 Resistent hus: Huset ska konstrueras på ett sådant sätt att boende hinner ta sig ut ur huset till och med under den kraftigaste jordbävning. Detta ska gälla för hus gjorda av svagare byggnadsmaterial som lera.
- 5 Viktiga byggnader: Dessa byggnader ska konstrueras på ett sådant sätt att det som värst uppstår minimala skador och skadorna får inte hindra konstruktionens funktion efter jordbävningen.

3.2 Tröghetskrafter

3.2.1 Tröghetskrafter

När en byggnad utsätts för kraftiga vibrationer så ska den kunna vridas, böjas och utsättas för tryck och drag utan att kollapsa eller få så allvarliga skador att dess fortsatta verksamhet är kraftigt begränsad. Under jordbävningen kommer en byggnad att röra sig i alla riktningar men mest i jordbävningens riktning och många hus är bra byggda för att stå emot vertikala krafter men är oftast sämre byggda för att stå emot de horisontella krafterna.

De vanligaste byggnadsmaterialen i Iran är betong, stål och lera, och lera är ett väldigt sprött material som är känslig för både tryck- och dragkrafter. Man måste därför använda sig av olika typer av armering att materialens tröskelgräns förlängs innan brott sker. Då agerar materialet mera flexibelt och kan stå emot större krafter. Man ska sträva efter att använda sig av material som har tillräckligt med styrka och flexibilitet för att stå emot de krafter som bildas under jordbävningen samtidigt som byggnaden designas till en sammanhållen enhet när den utsätts för dessa kraftiga vibrationer. Byggnaden ska inte konstrueras för att endast klara av de vertikala krafterna som bildas av husets vikt men ska även konstrueras för att stå emot de horisontella krafterna som bildas under jordbävningen och som orsakar skador på husen.

För att bygga ett jordbävningssäkert eller jordbävningresistent hus så måste man förstå hur jordbävningens krafter överförs och sprids i en byggnad. Under en jordbävning utsätts marken för rörelser och dessa rörelser vill dra med sig allt som vilar på marken i samma rörelseriktning. Byggnadens fundament sitter fast i marken och följer därför naturligtvis med markens rörelser medan taket strävar efter att stanna kvar på sin ursprungliga position. Men eftersom taket sitter ihop med väggarna och väggarna i sin tur sitter ihop med fundamentet så är det oundvikligt att även resten av huset tvingas följa med i rörelsen. Fundamentet rör sig först och därefter följer resten av huset med dock med en liten fördröjning och det är just denna fördröjning som ger upphov till tröghetskrafterna i huset. Fördröjningen är beroende av husets totala vikt där ett lättare hus har en mindre fördröjning alltså mindre tröghetskrafter. Men

tröghetskrafterna kan bäst förklaras med hjälp av Newtons andra lag $F = ma$ där F är proportionell mot massan vilket innebär att mindre massa medför mindre tröghetskrafter. Newtons andra lag innebär att ett lättare hus utvecklar mindre tröghetskrafter.

3.2.2 Tröghetskrafter genom husets alla delar

De kraftigaste tröghetskrafterna bildas på husets alla horisontella plattor. Ytan samt tyngden på dessa plattor bestämmer storleken på tröghetskrafterna. Tröghetskrafterna bildas alltså främst i golven och takplattan och dessa krafter överförs till övriga delar av byggnaden via husets väggar och pelare. Huset måste därför byggas så att tröghetskrafter kan transporteras till marken utan att allvarliga skador uppstår.

Husets mest sårbara partier är väggar, pelare och balkar. Väggarna kan till exempel vara för tunna för att bära upp den horisontella jordbävningskraften som är vinkelrät mot väggen. Resultatet kan bli att väggen spricker i mitten och kanterna. Ett annat problem kan även vara att väggen är tillverkad med ett sprött material och armering saknas. Materialet klarar inte av tröghetskrafterna och sprickor uppstår i mitten, vid hörn och kanter. Dessa spröda väggar måste byggas så att de blir flexibla och står emot kraftiga skakningar. Väggarna fungerar som en brygga där tröghetskrafterna rör sig ner från takplattan till fundamentet och marken.

Jordbävningens riktning påverkar husets väggar på olika sätt beroende på väggens placering och riktning. Dessa väggar betecknas antingen som svaga väggar (vinkelräta mot jordbävningens riktning) eller starka väggar (parallella med jordbävningens riktning). De svaga väggarna söker under en jordbävning stöd hos de starkare väggarna för att ta del av stabiliteten hos dessa väggar. Därför är det av stor vikt att samtliga väggar sitter ihop på ett bra sätt. Jordbävningens kraft utsätter de svaga och vinkelräta väggarna för kraftiga deformationer, och jordbävningens riktning trycker in ett av den vinkelräta väggen in mot huset och den andra bort från huset. De väggar som är parallella med jordbävningens riktning berörs inte av denna deformation såvida dessa väggar inte är för tjocka och tunga. Dessa krafter kommer dock att sprida sig till samtliga väggar genom alla förbindningar och kanter. När det gäller öppningar så försvagas en vägg ytterligare med andelen öppningar särskilt om denna öppning är för nära kanter, golv, tak eller andra öppningar. En öppning är en svag länk i en vägg eftersom det försvårar kraftförflyttningar mellan väggarna.

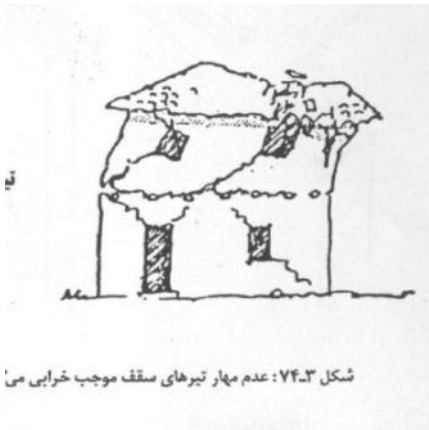


Fig. 4. Tröghetskrafterna börjar när taket försöker följa med i jordbävningsriktningen. Krafterna sprids sedan neråt mot marken. Detta hus saknar jordbävningresistent design och är därför svag vid öppningar, mellan våningarna samt taket. (IIEES)

3.2.3 Jordbävningsskrafter på fristående väggar

Jordbävningens effekt på en vägg är beroende av väggens placering och riktning. När en vägg utsätts för en kraft vinkelrätt mot dess riktning så strävar denna vägg efter att tippa över. Men om väggen däremot utsätts för en kraft parallell med dess längd så kommer väggen att röra sig i sin längd. Detta betyder inte att den parallella vägen inte strävar efter att välta eftersom det skapas ju fortfarande tröghetskrafter även i denna vägg men dock mycket mindre än i den vinkelräta väggen, den parallella väggen vill rör sig mera i sin längd än att den vill välta. Väggen som utsätts för den parallella kraften klarar sig betydligt bättre i jämförelse med en vägg som utsätts för en vinkelrät kraft. Detta beror på att den parallella väggen har en mindre yta som påverkas av jordbävningsskraften än den vinkelräta väggen och drar därför till sig mindre tröghetskrafter. Men samtliga väggar måste dock ha korrekta dimensioner samt korrekt placerade öppningar för att inte skadas av tröghetskrafter. Om den är för kort så uppstår det sprickor i mitten av väggen i form två linjer som skär varandra i en korsning, även kallad för X-spricka. Är väggen däremot för lång så kommer sprickan istället vara diagonalt och korsar väggen från hörna till hörna.

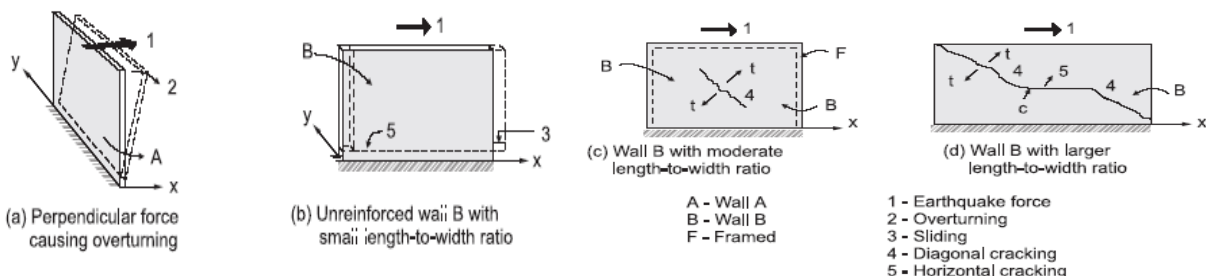


Fig. 5. Rörelser och skador på fristående väggar. (International Association for Earthquake Engineering, IAEE)

3.2.4 Två väggar med tak

Den horisontella ytan samt tyngden på denna yta är avgörande för hur stora tröghetskrafterna blir. Takplattan är en stor yta och drar därför till sig stora mängder av tröghetskrafter och dessa krafter överförs till väggarna som den vilar på, i detta fall på toppen av två väggar. För att dessa krafter ska överföras till väggarna så måste plattan sitta ordentligt fast i väggarna för att dessa inte välta. Ett hus med denna form klarar sig bra så länge jordbävningskrafterna är parallella med väggarna, om jordbävningskrafterna istället är vinkelrätt mot väggarna så är en kollaps oundvikligt för väggarna kommer inte kunna bära tröghetskrafterna som taket bildar. Denna typ av kollaps inträffar även på hus som har för långa väggar.

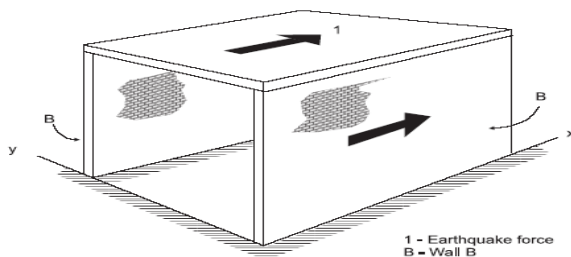


Fig. 6. Jordbävningens riktning genom husets väggar. (IAEE)

3.2.5 Fyra väggar utan tak

Låt oss säga att jordbävningskraften rör sig parallellt med vägg B och är vinkelrät mot vägg A enligt bilden nedan. Vägg B utsätts för egen genererade tröghetskrafter (på grund av vibrationerna samt väggens egen tyngd) och ska dessutom hindra vägg A från att tippa över. Vägg A som utsätts för kraftiga jordbävningskrafter och vridningskrafter agerar som en platta och slår till mot kanterna på vägg B. Sprickor inträffar i kanterna på båda väggarna och sprickor kan även bildas i mitten av vägg A. Husets alla väggar måste sitta ordentligt ihop så att huset agerar som en sammanbunden enhet vid kraftiga rörelser och tröghetskrafterna fördelas till alla väggar. Detta kallas för box effekten eftersom huset kommer att bete sig som en box.

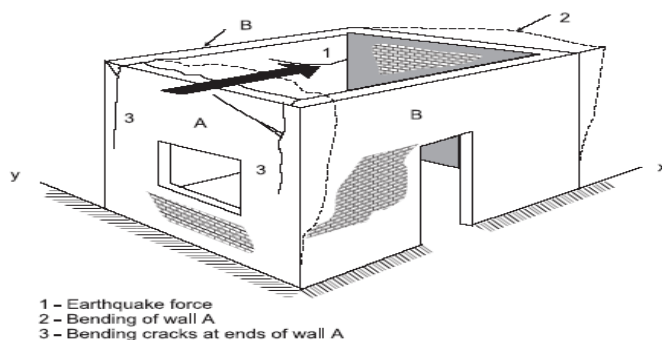


Fig. 7. Väggar som är vinkelräta mot jordbävningens riktning (A) trycks in mot huset respektive ut från huset och motståndet mot detta finns i hörnen. (IAEE)

3.2.6 Fyra väggar med tak

Takplattan bildar kraftiga tröghetskrafter och dessa krafter vill röra sig nedåt till väggarna. När takplattan sitter ordentligt ihop med samtliga väggar fördelas tröghetskrafterna på väggarna i förhållande till styvheten.

Tröghetskrafterna dras alltid till de delar av huset som är styvare. I detta fall är vägg B styvare eftersom den är i samma riktning som jordbävningsriktningen och tröghetskrafterna dras alltså till denna vägg. Vägg A skyddas av både takplattan samt vägg B mot kraftiga böjningskrafter och huset att agera som en box.

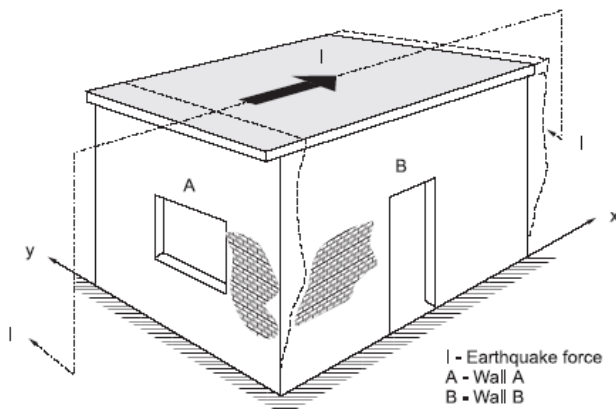


Fig. 8. Takplattan håller ihop samtliga väggar så att hela byggnaden agerar som en sammanbunden enhet. (IAEE)

3.2.7 Box-effekten

Tröghetskrafterna måste ledas ner till fundamentet och marken på enklast sätt och utan att hindras på vägen ner. Det är därför viktigt att tak, väggar och fundament sitter bra ihop och hålls ihop ordentligt så att tröghetskrafterna kan förflyttas mellan varje del av byggnaden utan några förhinder. De svagare partierna av huset, som till exempel väggar som är vinkelräta mot jordbävningsriktningen, förstärks på detta sätt och skadorna minimeras.

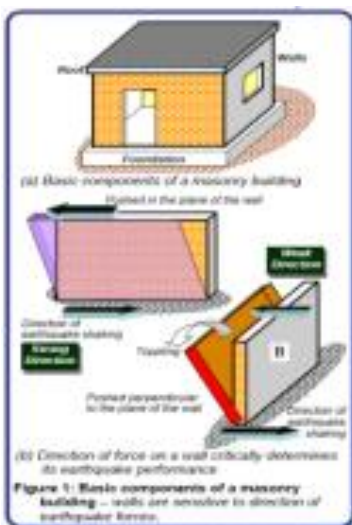


Fig. 9. Väggen är stabilare ifall den horisontella kraften rör sig i väggens längd (Starka längden). (Earthquake Tips)

3.2.8 Horisontella och vertikala band

Ett bra sätt att hålla ihop husets alla delar är genom att använda sig av armerade horisontella och vertikala band. Horisontella band behövs för att husets väggar ska kunna klara av de kraftiga böjningskrafter som hela huset och väggarna utsätts för samt för att binda ihop husets samtliga väggar till en sammanhängande enhet. Banden skyddar även inomhusväggarna så att de inte utsätts för sprickor eller krympning. Det mest effektiva bandet är ett stålarmert betongband på alla horisontella och tvärgående bärande väggar. Det finns fyra typer av band som ska finnas med men det viktigaste är hammarbandet och det placeras ovanför alla öppningar. Horisontella banden är ingen garanti för att väggarna är skyddade eftersom väggarna kan försvagas av flera andra anledningar, som till exempel andelen öppningar. Vid alltför kraftiga jordbävningar kan väggpelarna frigöras från banden, skakas fram och tillbaka och endast komma i kontakt med övriga huset via de motstående diagonalerna. Pelarna krossas därför i kanterna just där de är i kontakt med huset. Dessa skakningar uppstår när pelarna är smala och höga och tyngden uppifrån är liten. Om pelarna är tjockare så uppstår det X-sprickor. Ett annat problem som kan inträffa är skadliga glidningar vilket kan leda till att taket glider bort från sin position och faller ner eller att väggarna glider från fundamentet. För att undvika dessa skador så måste man även använda sig av armerade vertikala band.

Horisontella band i husets olika delar:

- Gavelband
- Takband (behövs inte om taket består av en betongplatta)
- Hammarband (ovanför alla öppningar)
- Sockelband (vid mjuk eller ojämn mark eller om det saknas betongfundament)

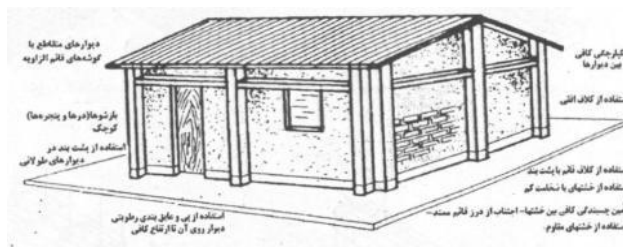


Fig. 10. Horisontella band ovanför öppningar samt vertikala band som delar upp väggarna i mindre partier.(IIEES)

3.2.9 Vertikal armering

De vertikala banden eller stålstänger ska sträcka sig från fundamentet till taket och därmed tvinga pelarna och väggarna att böja sig istället för att skakas. Vertikala armeringstänger förhindrar dessutom skadliga glidningar. De svaga väggarna förstärks genom att man i princip delar in väggarna i mindre delar och därmed fördröjer uppkomsten av X-sprickor eller andra typ av skador. Genom en uppdelning av väggarna på detta sätt så delas även tröghetskrafterna upp i flera mindre krafter. Diametern och antalet stänger på de horisontella banden styrs av väggens längd samt i vilken riskkategori huset ligger i (se appendix). När det gäller att installera vertikala stöd till hus som ligger i kategori 3-4 så räcker det med att man använder sig av stål nät eller stålpluggar som installeras i hörnen eller vid T-korsningar och med ett mellanrum på högst sextio centimeter mellan varje stålplugg.

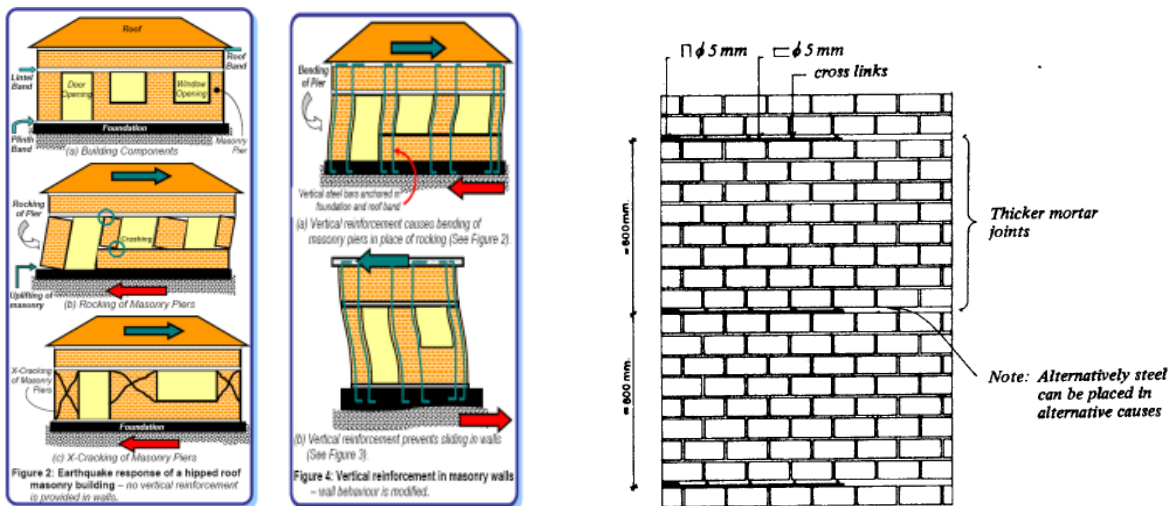


Fig.11. Huset måste förses med vertikala band för att klara av rörelserna i horisontalriktningen, särskilt om huset har flera öppningar. Om byggnaden ligger på ett 3 eller 4 klassad område där det är liten risk för kraftiga jordbävningar så räcker det med stålpluggar i hörnen eller vid T-korsningar. (Earthquake tips och Protection of Educational Buildings Against Earthquakes, Prof. A.S Arya (1987).

3.2.10 Horisontella och vertikala band vid öppningar

De horisontella krafterna utsätter öppningarna för starka dragkrafter där två motstående hörn dras ifrån varandra och de två övriga dras ihop och bildar sprickor i hörnen som dras mot varandra. Ju större dessa öppningar är desto större sprickor bildas. Genom använda sig av vertikala stänger på varsin sida om öppningen samt genom att använda sig av horisontella band, så utsätts inte öppningen för allt för kraftiga horisontella rörelser och sprickor och deformationer förhindras eller fördröjas.

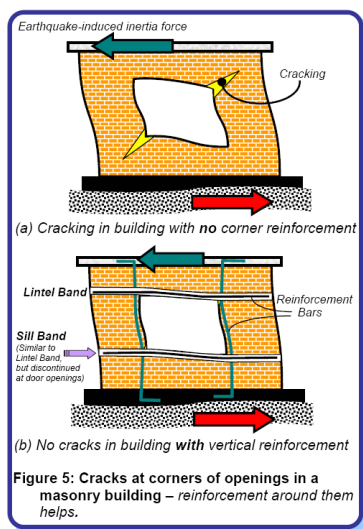


Fig. 12. De horisontella krafterna kommer att utsätta en öppning för både tryck- och dragkrafter. (Earthquake tips)

3.2.11 Storleken på öppningar

Jordbävningskrafterna utsätter huset för kraftiga diagonala och vertikala sprickor. De uppstår på grund av allt för kraftiga diagonala tryck- och dragkrafter. Diagonala sprickor börjar vanligtvis i hörnen på öppningar och ibland även i mitten på en vägg. Dessa sprickor kan leda till delvis eller total kollaps och uppstår vanligtvis på väggen som är parallell med jordbävningskraften. Vertikala sprickor uppstår i den svaga väggen som är vinkelrät mot jordbävningsriktningen och sprickorna framträder i kanterna, mitten samt ovanför öppningarna. Andelen öppningar samt stoleken på dessa i förhållande till väggens dimensioner måste begränsas inom rimliga gränser beroende på vilken riskkategori huset befinner sig i och för vad som är estetiskt nödvändigt, öppningar är känsliga delar av huset särskilt när det gäller hus som är av lera eller av obrända tegelstenar.

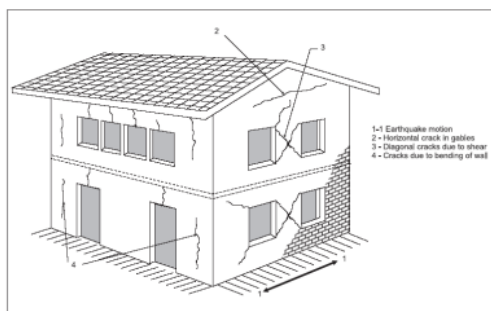


Fig. 13. X-sprickor uppstår mellan öppningar som är för nära varandra och det samtidigt saknas horisontella band ovanför dessa öppningar. (IAEE och IIEES)

3.3 Symmetri

När det gäller att bygga enkla bostadshus i fattiga länder som till exempel Iran så är byggnadens form och storlek väsentlig och är utan tvekan avgörande för dess jordbävningssresistenta beteende. När man bygger jordbävningssresistenta hus så måste man följa grundläggande normer som gäller för i princip alla typer av hus men särskilt små bostadshus i fattiga länder med begränsade ekonomiska och materiella resurser.

Husen ska ha:

- Enkla rektangulära och symmetriska ytor både i elevation och plan
- Proportionella dimensioner

En byggnad ska utformas som en likformig enhet så att rörelserna i alla delar av huset rör sig lika mycket och i samma riktning samtidigt. Byggnader med enkel och symmetrisk arkitektur klarar sig bra under jordbävningar eftersom tröghetskrafter kan utan hinder röra sig mellan de olika delarna av ett hus och på det snabbaste och enklaste sättet ta sig ur huset. Byggnader med komplicerad arkitektur som till exempel en U-formade byggnader eller små lerhus där man försökt imitera större tegelhus är betydligt känsligare för jordbävningar. Detta eftersom det uppstår komplicerade rörelser i byggnaderna och tröghetskrafterna har det svårt för att ta sig ut ur huset. Den här typen av byggnader kräver komplicerade lösningar och skickliga ingenjörer. Om det inte är möjligt att undvika en byggnad med komplicerad och osymmetrisk struktur så kan denna byggnad fortfarande göras enkel och symmetrisk genom att det delas upp i flera mindre delar. Byggnadens komplicerade och osymmetriska ytor blir således symmetriska och enkla genom att varje del av byggnaden har sina egna men svagare tröghetskrafter. Med dessa metoder så undviker ägarna investeringar i dyrbara jordbävningssresistenta system och dessutom kostsam underhåll.



Fig. 14. En komplicerad struktur kräver komplicerade och kostnadskrävande jordbävningssystem. (IIEES)

Om ett hus har osymmetrisk placerad massa så leder detta till ett system fel där husets olika delar inte reagerar likadant på jordbävningen och huset utsätts för kraftiga vridningsmoment. Tröghetskrafterna måste transporteras från taket till marken genom den kortaste sträckan och utan några hinder. Byggnader som har osymmetrisk struktur hindrar och i vissa fall komplicerar tröghetskrafternas rörelser.

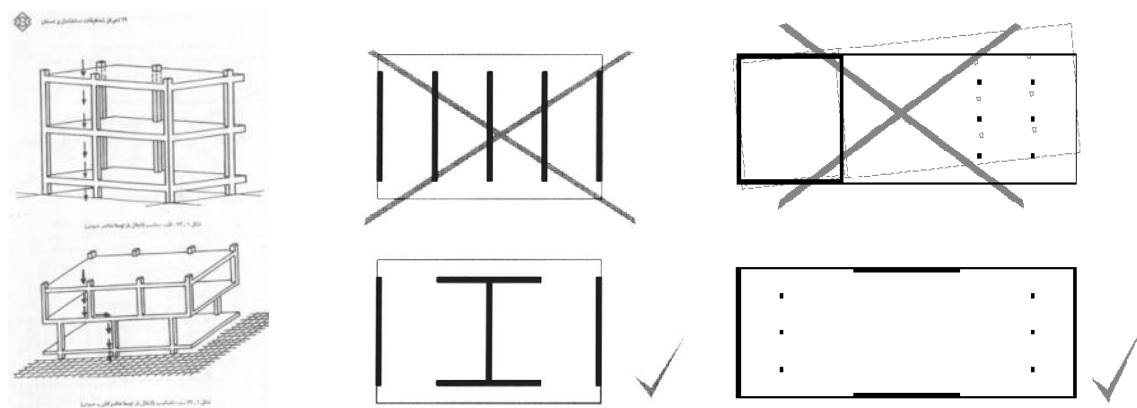


Fig. 15. Tröghetskrafterna måste transporteras från taket till marken genom den kortaste sträckan och utan några hinder. Byggnaden måste vara symmetrisk både i elevation och i plan. (IIEES och *Designing for Earthquakes – A manual for Architects* Published by FEMA, U.S. Department of Homeland Security 2006)

Följande punkter måste beaktas vad gäller symmetri:

- Redan i planeringsstadiet ska jordbävningssäkerhet beaktas.
- Husets alla delar ska sitta ihop så att jordbävningskraften kan överföras från en del av huset till en annan utan några hinder.
- Byggnaderna ska vara enkla, symmetriska och enformiga.
- Pelarna eller stödkonstruktioner, golv och tak ska inte vara spröda utan väldigt sega så att de kan deformeras utan att krossas.

- Tröghetskrafterna ska på det snabbaste och enklaste sättet ledas ner till marken.
- Byggnaden ska ha väggar i både X och Y riktningen.
- Husets balkar ska inte vara tjockare än pelarna. I första hand ska pelare skyddas eftersom en skada i en pelare påverkar hela byggnaden medan en skada i en balk endast ger en lokal skada.
- Farliga vridningar ska undvikas, byggnaden ska vara styv.
- Fundamentet ska vara tillräckligt stark för att ta emot tröghetskrafterna.

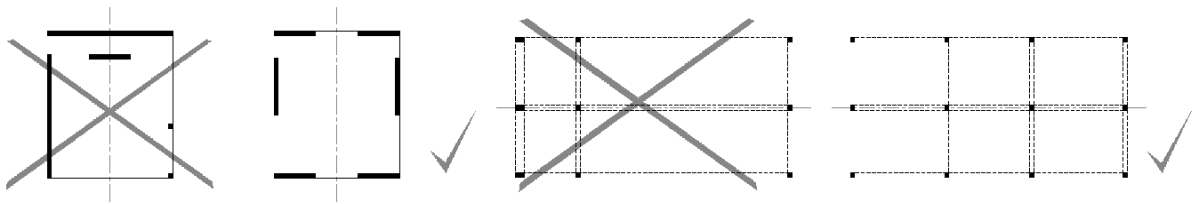


Fig.16. Symmetri i plan (Designing för Earthquakes – A manual for Architects Published by FEMA, U.S. Department of Homeland Security 2006)

3.3.1 Symmetri i väggar

Husets väggar försvagas med ökad längd och höjd, och stabiliteten kan försvagas så mycket att väggarna till och med skadas vid mindre jordbävningar. Större och längre väggar drar till sig stora tröghetskrafter. För att undvika denna typ av problem så bör man använda sig av inomhusväggar eller om detta inte är möjligt använda sig av stöttepelare. Inomhusväggar och stöttepelare har samma funktion som horisontella och vertikala band genom att tröghetskrafterna delas upp i flera mindre krafter.

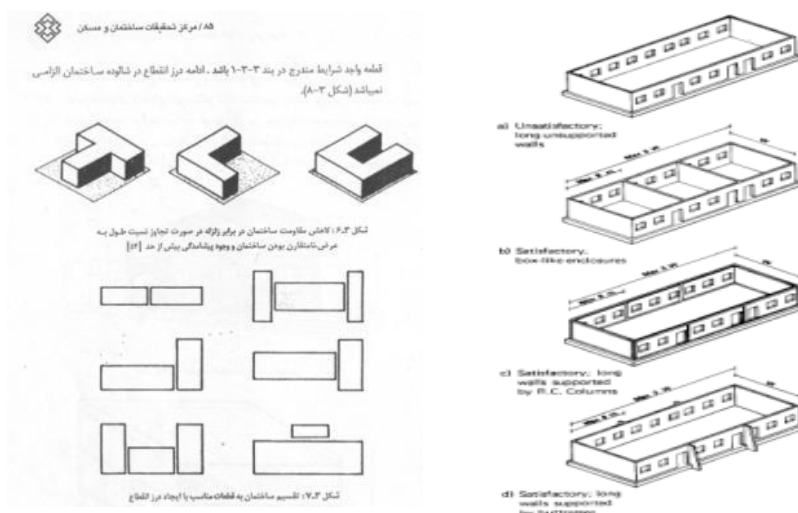


Fig. 17. Enkla och rektangulära former

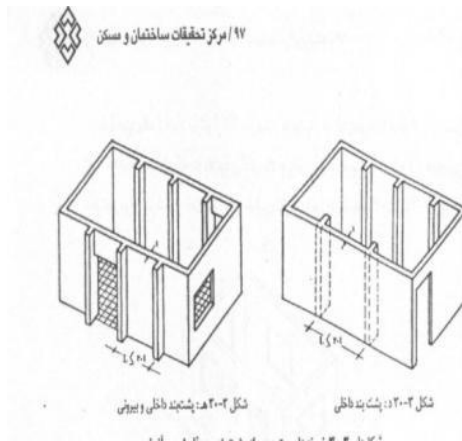


Fig. 18. Storleken av en vägg eller ett rum måste begränsas. Längden (L) av väggen får inte överstiga mer än tre gånger bredden (b) $L \leq 3b$

3.3.2 Symmetri i plan

Följande punkter måste beaktas för symmetri i plan:

- Jordbävningssystem ska vara symmetriskt placerade.
- Byggnadens massa ska vara symmetriskt placerad.
- Byggnaderna ska vara enkla och rektangulära och komplicerade byggnader ska delas in i mindre och symmetriska byggnader och ha ett säkert avstånd mellan dem.
- Burspråk eller utbyggnader ska inte överstiga 25 procent av den totala längden i den axellinje som utbyggnaden är byggd på.

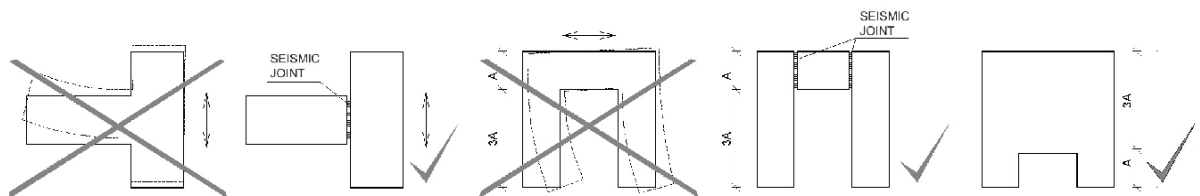


Fig. 19. Komplicerade byggnader görs enkla genom uppdelning. (*Designing for Earthquakes – A manual for Architects Published by FEMA, U.S. Department of Homeland Security 2006*)

3.3.3 Symmetri i elevation

Följande punkter måste beaktas för symmetri i elevation:

- Samtliga bärande partier i en konstruktion måste oavbrutet löpa från fundamentet till taket på enklast sätt.
- Massan måste antingen vara konstant eller minska successivt från fundamentet till taket och utan plötsliga viktskillnader.

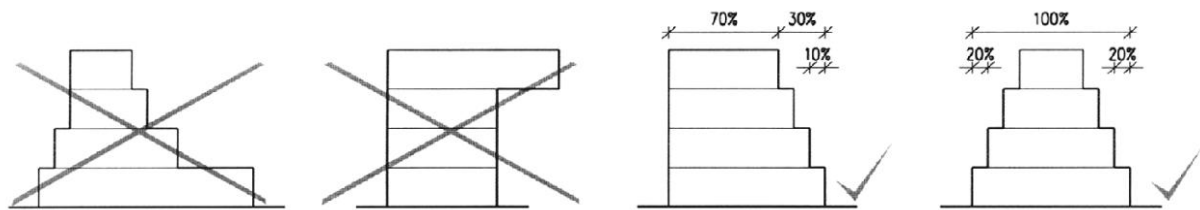


Fig. 20. Minskningen av golvytan får inte kraftigt höjas eller sänkas mellan två våningar eller mellan takytan och fundamentet. (Designing for Earthquakes – A manual for Architects Published by FEMA, U.S. Department of Homeland Security 2006)

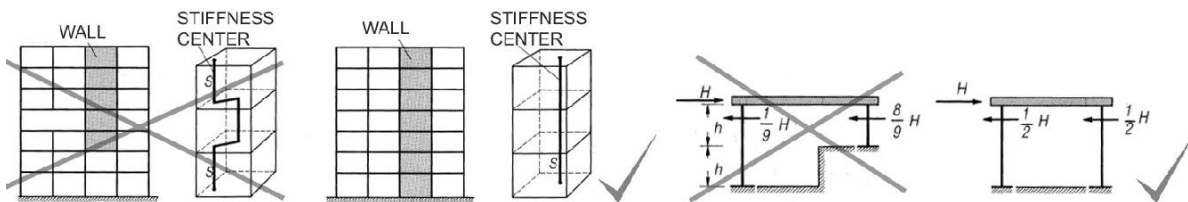


Fig. 21. (Designing for Earthquakes – A manual for Architects Published by FEMA, U.S. Department of Homeland Security 2006)

- Indragna våningar i symmetriska byggnader får ha högst tjugo procent skillnad i ytan mellan varje våning.
- Vid oregelbundna byggnader så får det vara högst trettio procent skillnad mellan översta våningens yta och den nedersta våningens yta och den högsta tillåtna skillnaden mellan varje våning får inte överstiga tio procent.
- Pelare måste ledas direkt ner i marken utan hinder på den rakaste och enklaste vägen.
- En pelares stabilitet får inte vara beroende av balkar eller golv.
- Vid byggnader där det inte går att undvika osymmetri så måste jordbävningssäkerheten skötas av skickliga personer.
- Utbyggnader som stora entréer, burspråk eller andra dekorativa utbyggnader ska sitta ihop med byggnaden. Men om utbyggnaden blir för stor som till exempel ingången till en bank så bör den byggas separat.
- Byggnader får inte vara för nära varandra. Det är särskilt viktigt om byggnaderna har olika höjd.
- Trappor är särskilt utsatta konstruktioner och det på grund av den stora ytan och drar därför till sig stora mängder av tröghetskrafter samtidigt som den endast sitter fast med byggnaden i anslutningarna, det är just i anslutningarna som trapporna är utsatta. Byggnaden bör byggas för sig (Som t.ex. anslutna till gavlar) eller invändigt för att undvika osymmetri. Om trapporna är invändigt byggda så måste anslutningarna vara bra byggda.

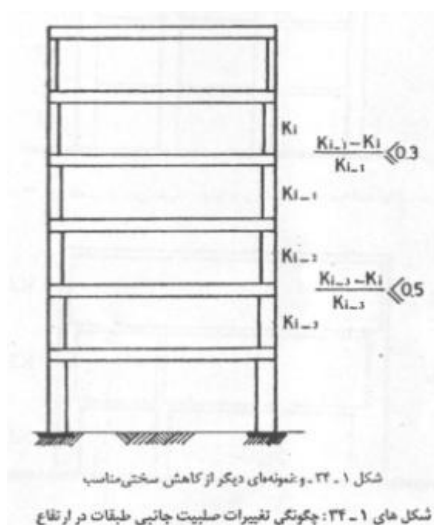


Fig. 22. Massan mellan två närliggande våningar får inte överstiga 30 procent i skillnad. Skillnader i massan mellan tre våningar får dessutom inte överstiga 50 procent. Tjockleken på pelare får inte minska med mer än 30 procent mellan våningarna. (IIEES)

3.3.4 Hus på ojämn mark

Hus bör inte byggas på ojämn mark eller ha pelare med olika dimensioner eftersom detta leder till ett kraftigt systemfel där huset utsätts för skadliga vridningar. Pelarna uppträder på olika sätt eftersom kortare och styvare pelare drar till sig större tröghetskrafter. Ett exempel på detta är när ett hus är byggt på en sluttning; samtliga pelare rör sig lika mycket horisontellt men eftersom kortare pelare är styvare så drar dessa till sig större mängder tröghetskrafter. Styvare pelare innebär att det behövs mer kraft för att deformera materialet. Likadana problem uppstår även på hus som har mezzanin eller har olika höjder på våningarna eller väggarna. Om en vägg inte täcker hela pelaren utan istället täcker en del av denna pelare så leder detta till att pelaren blir känslig just där väggen tar slut. Den delen av pelaren som är innesluten i väggen står emot en jordbävning bättre än den fristående pelaren eftersom de anslutna väggarna är styva och dessa hjälper pelaren genom att ta emot en del av tröghetskrafterna och leda ner dem i marken. Däremot tar den fristående pelaren ovanför de anslutna väggarna ensamt emot de ovanifrån kommande tröghetskrafterna. När tröghetskrafterna överskrider pelarens förmåga så uppstår det X-sprickor. För att undvika dessa problem så ska det inte byggas på ett sådant sätt att pelaren ensamt får ta emot tröghetskrafterna utan bör byggas så att dessa krafter fördelas på en större yta. Men om det inte är estetiskt möjligt så ska man se till att bygga pelarna tillräckligt kraftiga så att dessa ska kunna klara av att föra ner ovanifrån kommande tröghetskrafterna utan att ta skada.

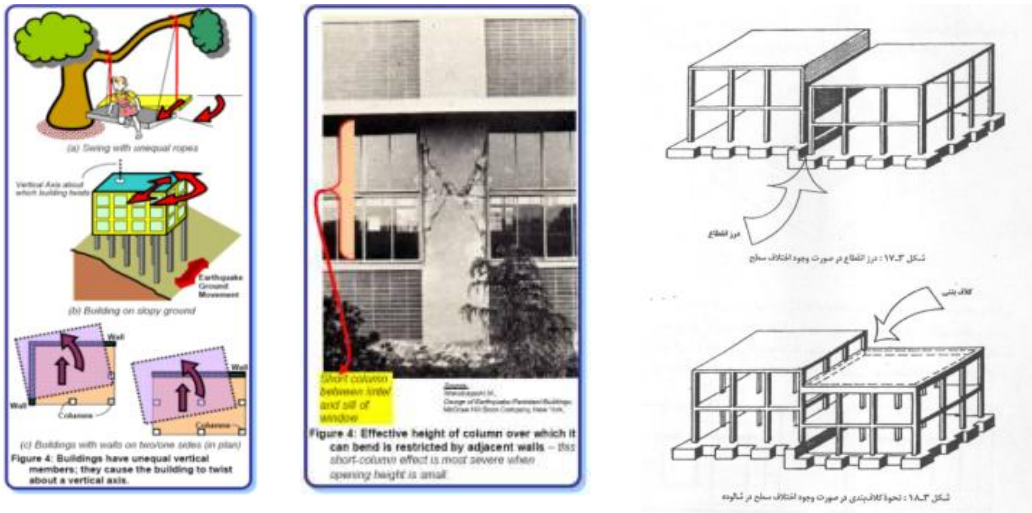


Fig. 23. Olika höjder på pelare leder till att de kortare drar till sig större tröghetskrafter och dessutom utsätts för kraftiga vridmomentkrafter. Om byggnader byggs ihop så kan en våning oavsiktligt bli en mezzanin och pelaren som den är ansluten till kanske inte klarar av momentkrafterna. (Earthquake tips och IIEES)

3.3.5 Öppna våningar

Det är vanligt i Iran att det byggs så byggnader där första våningen blir ett garage eller en lokal som används i affärsverksamhet; dessa hus har visat sig vara särskilt känsliga mot jordbävningar. I dessa hus så kan pelarna visserligen vara symmetriskt placerade men problemet som uppstår är att tröghetskrafterna från våningarna ovan tvingas till att pressa sig genom dessa pelare.

Våningarna ovanför fungerar på grund av box-effekten som en enhet medan den största horisontella förskjutningen sker på första våningen. Det finns inga väggar som hjälper pelarna att ta emot och transportera krafterna ner till marken. Detta leder till att byggnaden pendlar kraftigt och byggnaden utsätts för allvarliga skador ifall dess pelare på första våningen inte är särskilt armerade. En pelare i nedersta våningen ska kunna ta emot 2.5 gånger tröghetskrafterna som bildas i hela pelaren.

Två karaktäristiska drag för garagevåningar:

1. Första våningen är väldigt flexibel och har större horisontell förskjutning än våningen ovan och kallas därför för den mjuka våningen.
2. Den totala horisontella kraften som första våningen kan bära är mindre än för varje våning ovanför och kallas därför för den svaga våningen.

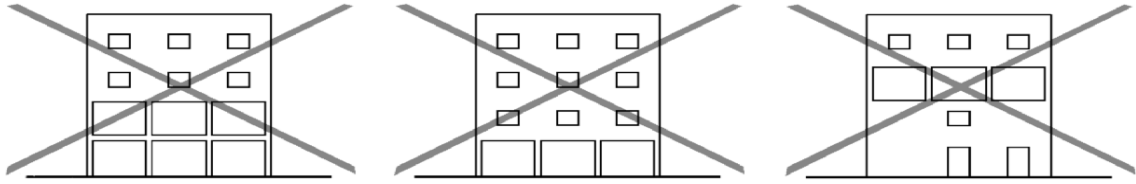


Fig. 24. Mjuka våningar (Designing for Earthquakes – A manual for Architects Published by FEMA, U.S. Department of Homeland Security 2006)

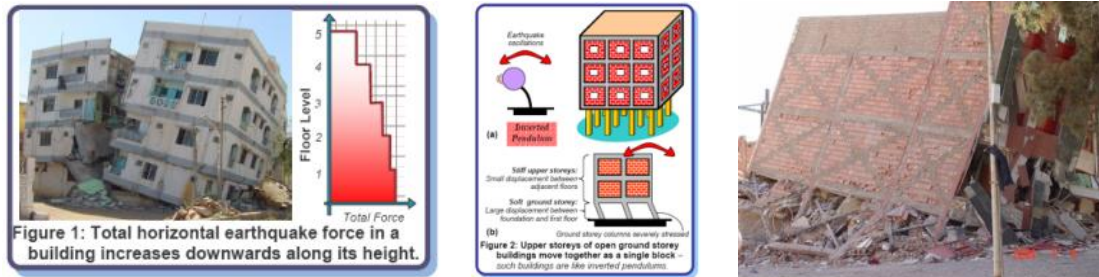
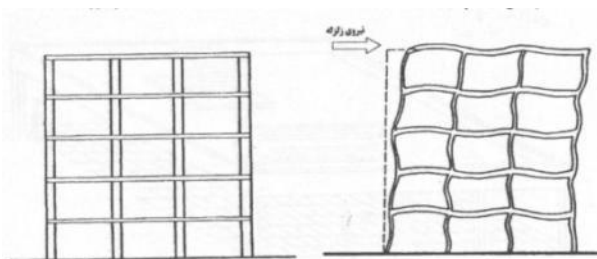


Fig. 25. Tröghetskrafter ökar med ökad avståndet från taket till marken. Ju längre tröghetskrafterna måste transporteras i en byggnad desto starkare blir dessa krafter. Pelarna i de nedre våningarna ska därför vara starkare än de övre. Mjuka våningar är särskilt sårbara eftersom våningarna ovan agerar ett block. (Earthquake tips och IIEES)

3.4 Hus av tegel och lera

Viktiga egenskaper hos byggnadsmaterial som ska vara jordbävningresistenta:

- Materialet ska ha tillräcklig styrka i både drag och tryck
- Materialets vikt ska reduceras så lång som möjligt
- Materialet ska vara elastiskt



شکل ۱- ۲۹: نمونه‌ای از عملکرد ساختمان‌های شکل‌پذیر

Fig. 26. Materialet ska kunna böjas och vridas utan att knäckas.(IIEES)

Tegelstenar av bränd eller saltorkad lera som byggnadsmaterial har används i tusentals år och är än idag väldigt vanliga i stora delar av världen och även i Iran. Materialets popularitet är dess lättillgänglighet, dess låga produktionskostnader och därtill även att det tål stora tryckkrafter, behåller sin form oavsett fuktighet och temperatur samt att det inte skadas av biologiska eller kemiska angrepp. Det är ett material som lokala byggare i stor utsträckning känner till och materialet är lätt att bearbeta med. Tegel är ett poröst material som lätt spricker vid drag och är därför väldigt känslig för

vibrationer och rekommenderas inte som ett byggnadsmaterial materialen för jordbävningssdrabbade områden. Dess nackdelar vad gäller ur jordbävningssynpunkt kan få förödande effekter på individer och hela samhällen. Men det är just de ekonomiska fördelarna och materialets lättillgänglighet och enkla hantering som gör det till det främsta byggmaterialet i fattiga länder. Detta är en realitet och måste tyvärr accepteras och utrymmet för att bygga jordbävningssresistenta hus är mindre, särskilt om man bygger med soltorkade tegelstenar. Det går dock fortfarande att bygga ett hus med det sämsta materialet och ändå få det att stå emot en kraftig jordbävning under tillräckligt lång tid för att de boende ska hinna ta sig ut ur huset. Följande åtgärder måste belysas för att effektivisera jordbävningssresistans:

- God förankring mellan husets alla delar
- Armerade horisontella och vertikala band
- Öppningarna måste hållas små samt vara rätt placerade
- Form och storlek
- Symmetrisk i elevation, plan och i massan

Vanliga orsaker till varför skador på tegelhus uppstår:

- Tunga hus drar till sig stora mängder tröghetskrafter
- Låg dragbrottgräns
- Sprött beteende i tryck och drag
- Avsaknaden av box-effekten
- Dålig förankring mellan bärande delar av byggnaden
- Avsaknaden av horisontella och vertikala band
- Konstruktion har stora spänningar vid öppningar
- Osymmetri i plan och elevation
- Osymmetri i öppningarna i både position och andel
- Tunga tak



Fig. 27. Husets pelare ska prioriteras före balkar. En kollapsad pelare påverkar hela byggnaden medan en kollapsad balk endast har en lokal påverkan. Pelare ska vara tjockare än balkar.(IIEES)

4 Iran

4.1 Byggnaderna i Iran

Trots alla jordbävningar som drabbat Iran de senaste decennierna så är bostadshus av lera fortfarande mycket vanliga i rurala områden och utgör fortfarande en allt för stor andel av bostadshusen i storstäderna. Lerhusens konstruktion i Iran varierar dock från region till region beroende på klimatet och materialtillgängligheten, men den gemensamma nämnaren är att lerhusen historiskt sett inte klarat sig bra mot jordbävningar. Detta beror på dåligt designade hus, för tunga väggar och tak samt att husen uppförts av byggare med dåliga eller inga kunskaper alls. Mer än åttio procent av bostadshusen ute på landet är av tegel och många av dessa hus är antingen byggda av de boende dem själva utan några som helst kunskaper av jordbävningssresistent design eller av dålig arbetskraft. I de västra delarna av landet med något mildare klimat är det vanligare att taket vilar på balkar av trä. Trä är ett utmärkt material för ett hus särskilt för taket men problemet ligger i att man även använder sig av tunga tegelstenar som trots träbalkar gör taket väldigt tungt. I de östra delarna av landet med torrare och varmare klimat där trä inte är lika tillgänglig så använder man sig istället av valvtak av lera. Dessa tak är väldigt tunga och utgör i många fall en allt för tung last på väggarna. Utöver det tunga taket så bygger man även för tunga och tjocka väggar som under en jordbävning drar till sig stora tröghetskrafter.

Typiska brister med husen i Iran:

- Dåliga förbindningar mellan väggarna särskilt i hörnväggar
- Tunga tak
- Dåligt material som till exempel soltorkade tegelstenar
- Dåligt murbruk
- Dåligt uppförda hus
- Valvtak som vilar på bärande väggar och som inte bara bidrar med vertikala krafter men även horisontella krafter. Dessa tak trycker ut väggarna även under statiskt tillstånd.

4.2 Bam

4.2.1 Takkonstruktioner i Bam

Bostadshusen i Bam kunde helt enkelt inte stå emot jordbävningen och med det katastrofala resultatet där i stort sett alla lerhus kollapsade. Resultatet av effekterna från jordbävningen i Bam blev densamma som de andra jordbävningarna som drabbat regionen de senaste decennierna, husen visade sig vara lika ömtåliga som i Golbaf och de andra mindre städerna i regionen. Taken på husen var avgörande för omfattningen av skadorna och det visade

sig att kupoltaken klarade sig bättre än både de cylinderformade valvtaken samt bättre än platta tak. Kupoltakens förmåga att återgå till sin ursprungliga position beror på att den vilar på bärande väggar i alla riktningar och de horisontella krafterna utsätter inte taket för lika kraftiga böjningskrafter. Krafterna överförs ner till väggarna som tryckkrafter. Kupoltaket fungerar dessutom som ett band och håller ihop väggarna. Så länge väggarna klarar av att bära tryckkrafterna från taket och inte kollapsar av de horisontella krafterna så kommer husets tak och väggar klara sig bra och utan allvarliga skador. Kupolen måste naturligtvis sitta bra ihop med väggarna som den vilar på och får inte lossna och glida ur sin position.

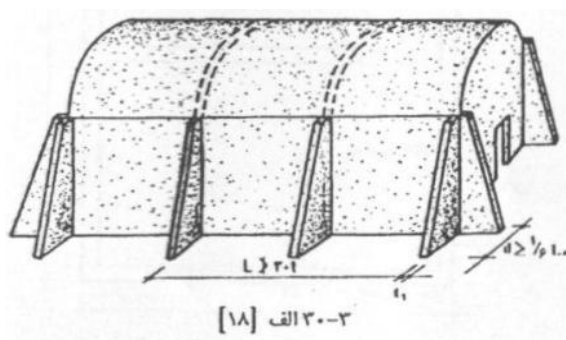


Fig. 28. Kupoltaken klarade sig bättre än både cylinderformade tak och platta tak. (IIEES)

Valvtaken som är cylinderformade saknar kupoltakets förmåga att binda ihop väggarna som ett band och är därför lika känsliga mot horisontella krafter som platta tak, taket måste bindas ihop med väggarna på ett ordentligt sätt så att tröghetskrafterna från taket förs ner till väggarna och marken. Valvtaken är dessutom farligare än platta tak ifall jordbävningens riktning är vinkelrät mot taket. Taket strävar efter att trycka ut väggarna även under statiskt tillstånd och detta kan förvärras ytterligare under en jordbävning. Väggarna görs tjocka för att klara av den tunga lasten från taket under statisk tillstånd samt för att uppnå god termisk komfort inomhus, men tjockare väggar drar till sig större tröghetskrafter vilket förvärrar problemet. För att undvika skador under en jordbävning så är den bästa lösningen horisontella och vertikala band av armerat betong.

4.2.2 Historisk utveckling av konstruktioner

Vanligaste taksystemen i Bam före jordbävningen:

1. Valvtak eller kupoltak av tegelstenar (Antingen soltorkat eller bränt tegel)
2. Jack-arch tak (se bilder nedan)
3. Armerade betongbalkar med armerade tegelblock

Den vanligaste taktypen i provinsen Kerman fram till mitten av 1900-talet var antingen valvtak eller kupoltak. Det är flera klimat fördelar med dessa tak i

varma och torra ökenområden, men de har samtidigt allvarliga brister som ur jordbävningsspektiv är svåra att hantera. Hus med sådana tak var spröda, svaga, onödigt tunga och utöver detta byggda av antingen oerfarna arbetare eller byggda med traditionella metoder av de boende dem själva. Från mitten av 1900-talet introducerades ett nytt bjälklagssystem, jack-arch, från Europa som i stort sett ersatte de gamla taken, och utgör idag majoriteten av bjälklagen i rurala områden och i en stor andel av husen i storstäderna. Fördelar med golv och tak av den här är:

- Enkel konstruktion
- Billig konstruktion
- Snabbare installation

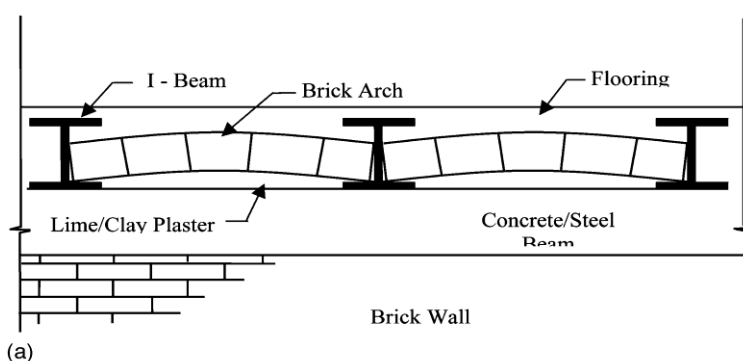


Fig. 29. I formade stålbalkar placeras med 0,8-0,9 meters avstånd från varandra och mellan balkarna placeras tegelstenarna. Flytbetong eller murbruk läggs på konstruktionen för att få platta golvet. Undersidan av bjälklaget putsas. (Performance of Building Roofs in the 2003 Bam, Iran, Earthquake)

I statiskt tillstånd läggs vikten av tegelstenarna på de stödjande balkarna, vilken i sin tur förs vidare till bärande system. Ett problem som uppstår under kraftiga horisontella rörelser är att balkarna vill glida ifrån varandra och golvet kan därför kollapsa på grund av dessa rörelser. Det bästa sättet att undvika detta är att se till så att varje del av golvet eller taket rör sig lika mycket horisontellt samtidigt utan att glida ifrån de bärande systemen. Detta kan åstadkommas genom att balkarna knyts ihop med varandra med antingen tvärgående balkar eller med stålstänger. Golvet agerar som en enhet och tröghetskrafterna förs vidare genom golvet utan hinder. Det är även viktigt att man tar hänsyn till box-effekten och binder ihop golvet med väggarna. I ett annat populärt golvsystem använder man betongbalkar istället för stålbalkar och placerar tegelblock mellan dessa balkar. Då måste balkarna vara närmare varandra, på 40 centimeters avstånd, och vara konstruerade enligt bilden nedan.

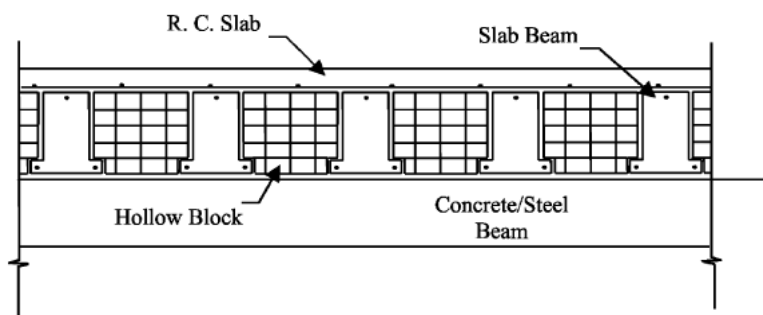


Fig. 30. Golv med armerade betongbalkar och med tegelblock mellan. (Performance of Building Roofs in the 2003 Bam, Iran, Earthquake)

4.2.3 Traditionella valv- och kupoltak

Resultatet från tidigare jordbävningar har visat att traditionella valv- och kupoltak är otillräckliga och borde därför undvikas om inte särskilda och moderna jordbävningresistenta åtgärder vidtas. Av bilderna från Bam efter jordbävningen kan man se att när de bärande väggarna inte kollapsade så kollapsade inte taket heller.

Takets vikt överförs till de bärande väggarna genom tryckkrafter och taket är väldigt känsligt för dragkrafter. Taket hjälper därför inte väggarna när dessa utsätts för kraftiga horisontella krafter, detta taksystem har snarare negativ effekt på väggarna eftersom taket redan under statiskt tillstånd vill trycka ut väggarna. Under en jordbävning så förstärks detta beteende. Detta blev väldigt tydligt i de hus som hade cylinderformade tak där dessa tak hade stöd endast i den riktningen där taket var parallellt med de längre väggarna. När det gäller kupoltaken så visade sig det att dessa tak klarade sig bättre och undkom kollaps så länge de bärande väggarna klarade sig. En gemensam nämnare till alla de kollapsade taken är att de var dåligt konstruerade tillsammans med dåligt material och felaktigt underhåll. I många av husen så hade man använt sig av lera som fogmassa som med tiden blivit svagare.

En av de största bristerna av taken i Bam var hanteringen av det vattenavvisande lagret som lokalt kallas för *Kahgel*, ett material bestående av lera och halm som blandats ihop. Tjockleken på detta lager varierar mellan 5-7 cm och livslängden är ungefär 1 år varpå de boende en gång om året måste lägga på ett nytt lager. Men det gamla lagret måste först tas bort innan det nya stryks på. Jordbävningen visade att det flesta bostadshus i Bam och Baravat hade alldeles för tjocka tak och alldeles för tjock *kahgel* eftersom de boende aldrig tog bort det gamla lagret utan strök det nya ovanpå det gamla och taken blev således tyngre med åren. Vissa kollapsade tak hade så mycket som 50 cm tjock *kahgel*.

Avgörande brister i valv- och kupoltaken har varit:

- Svagt material och för svag fogmassa. Man har använt sig av soltorkade eller brända tegelstenar som är spröda och som lätt brister när tegelstenarna slår i varandra.
- Dåligt utförda tak och likaså resten av huset
- Avsaknaden av box effekten
- Alldeles för tunga tak, likaså för tunga väggar

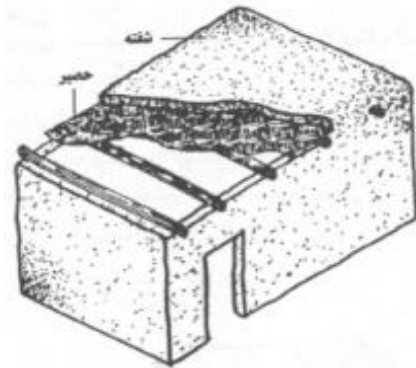


Fig. 31. Gammal fabrik i Bam. Ett av de bättre cylinderformade valvtaken som klarade sig. De bärande väggarna fick stöd dels genom de invändiga träbalkarna som binder ihop väggarna och dels genom stöd från intilliggande byggnader på båda sidor om fabriken. (Performance of Building Roofs in the 2003 Bam, Iran, Earthquake och IIEES)

4.2.4 Valvtak

Vissa av valvtaken Bam hade otillräcklig längd på balkar, i vissa fall precis intill kanten på bärande väggar. Dessa tak försvagade den bärande väggen ytterligare. När bärande väggar utsattes för horisontella rörelser och kom ur sina positioner så föll balkarna ner in i huset och drog även med sig hela taket. I några tak valdes de yttersta balkarna bort av ekonomiska skäl varpå tegelstenarna istället fick vila på kortsidorna. Under jordbävningen separerades väggarna från varandra och resultatet blev därför att taket kollapsade i gavlarna. Men det var inte endast brister i designen som orsakade kollaps av dessa tak utan även det sedvanliga problemet att tegelstenarna och fogmassan var dåliga samt att byggnaderna var dåligt konstruerade. En del av kollapsen berodde dessutom på att de boende ville spara pengar genom att minska höjden på själva valvet och därmed minska kostnaderna på den dyra putsen. Valvets förmåga att bära vikten och överföra de vertikala krafterna till väggarna beror på dess höjd.

De flesta av husen i Bam hade jack-arch tak som inte var förankrade med väggarna, i motsatt till vad de iranska byggreglerna kräver, därför kollapsade dessa hus fick allvarliga skador eller helt kollapsade. Iranska myndigheter rekommenderar att husen har horisontella band av antingen betong eller stål och att de binds ihop med golven. Jordbävningen visade vikten av denna regel,

de golv och tak som satt bra ihop med resten av huset så att systemet fungerade som en box klarade sig väldigt bra och undkom kollaps. De hus som kollapsade trots bra förankring gjorde det av andra anledningar. Ett annat problem med golven är vikten, eftersom lätta golv drar till sig mindre tröghetskrafter minskas även belastningen på de bärande väggarna. En lösning som numera är vanligare är att byggarna använder sig av håltegelstenar och därmed minskar vikten på golven och taket.

Brister i jack-archtaken:

- Otillräcklig längd på balkar
- Ingen förankring mellan balkarna och de bärande väggarna
- Dåligt utförda bjälklag eller tak
- Tunga tak

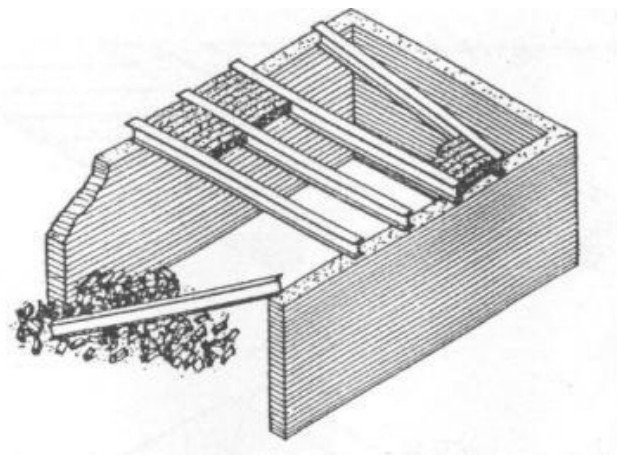


Fig. 32. Otillräcklig balklängd samt dålig förbindning leder till att balkarna glider ur sin position. (Performance of Building Roofs in the 2003 Bam, Iran, Earthquake och IIEES)



Fig. 33. I detta fall så har byggarna valt att ta bort den yttersta balken. (Performance of Building Roofs in the 2003 Bam, Iran, Earthquake)



Fig. 34. Tegelhus med jack-arch takplatta. Byggnaden klarade sig undan skador eftersom iranska rekommendationer följts och ett horisontellt band av betong installerats. (Performance of Building Roofs in the 2003 Bam, Iran, Earthquake)



Fig. 35. För stort avstånd mellan stålbalkarna i kombination med ett väldigt tungt valv. Iranska byggregler kräver max 0.9 meters avstånd. (IIEES)

4.2.5 Tegelblock av betong eller bränd lera

Tegelblock av betong eller bränd lera som golv har blivit populärare med åren eftersom golven klarar sig betydligt bättre än jack-arch plattor, kostnaderna för tegelblock har minskat rejält. Plattornas vikt har reducerats tack vare de ihåliga blocken och med hjälp av armering och horisontella band får man en utmärkt platta som fungerar bra under en kraftig jordbävning. Men på grund av dåligt utbildad arbetskraft och dåligt utförda hus så kollapsade flera av dessa byggnader trots bättre material. Kunnig personal är av stor vikt för att dessa bjälklag ska vara intakta även efter en jordbävning.

Brister med tegelblock av betong eller bränd lera:

- Dåligt genomförda golv och tak med allvarliga brister
- Okunnig personal



Fig. 36. En platta som kollapsat och hänger löst. (*Performance of Building Roofs in the 2003 Bam, Iran, Earthquake*)

4.3 Skadorna i Bam och Baravat

Skadorna koncentrerades till Bam samt de närliggande byarna som var anslutna till Bamförkastningen. Skadorna i staden Bam varierade något beroende på vilket kvarter samt vilken typ av byggnad det rörde sig om. I de nordöstra delarna av staden och runt citadellet där lerhus var dominerande blev effekterna av jordbävningen förödande med 90-100 procentiga skador. Även i de nya kvarteren i sydöstra delarna av Bam blev skadorna omfattande och dödstaten höga. De här områdena var tätt befolkade och dessa områden blev svåråtkomliga för hjälpinsatser direkt efter jordbävningen. I de södra samt västra delarna av staden med dadelgårdar och därför inte tätbefolkade blev skadorna inte så omfattande och skadorna varierade mellan 30-70 procent. Jordbävningen var den värsta naturkatastrofen som drabbat området på åtminstone 2500 år och varken stadens befolkning eller byggnaderna var förberedda för en jordbävning av denna styrka. En avgörande faktor för omfattningen av skadorna är jordbävningens g-krafter. Skador inträffar redan vid 10 procent av g-kraften (0,1 g) men då är det byggnader som är dåligt gjorda. Vid 0,3 g så skadas även väl gjorda byggnader. Jordbävningen i Bam nådde 0,8 g i horisontella rörelsen och 1,0g i den vertikala rörelsen. Det var endast ett fåtal av husen i Bam som klarade av dessa krafter. De flesta byggnader kollapsade för att de var traditionellt byggda. Men även nya hus av armerad betong kollapsade fast de inte skulle göra det. Jordbävningen i Bam visade hur illa ställt det är med den iranska byggsektorn när även nya byggnader av betong kollapsar och byggnader i mindre städer inte kontrolleras tillräckligt bra av myndigheterna. Alla typer av hus fanns representerade i Bam före jordbävningen men det mest utbredda husstypen var lerhus av obränt tegel där de boende antingen byggde husen själva eller anlät mindre kvalificerade arbetare. Enligt de nya byggreglerna som utformas av myndigheterna måste ritningar till varje hus som byggs godkännas av

myndigheterna och dessutom måste en kvalificerad yrkesman godkänna och göra stickprov på bygget. Men i praktiken är regel väldigt svår att genomföra i rurala och fattiga områden.

4.4 Byggnader i Bam

4.4.1 Hustyp

Byggnadstyper i Bam:

- Lerhus av obränt tegel
- Tegelhus av bränt tegel eller betonghållblock
- Stålhus
- Betonghus

4.4.2 Lerhus

Den vanligaste hustypen i sydöstra delarna av landet är lerhus med saltorkade tegelstenar och med antingen cylinderformade valvtak eller med kupoltak. Materialen kommer från enkla fabriker och är i stort sett färdiga att använda. Fogmassan består oftast av samma material som tegelstenarna och innehåller inget cement eller kalk. För att väggarna ska kunna bära de oftast tunga och massiva taken utan att de vittras sönder i överkanterna så byggs väggarna väldigt tjocka. Under de senaste decennierna har andelen av traditionella hus minskats på grund av att det dels anses vara fattigmannshus och är därför inte populära men även för att andra byggnadsmaterial numera är betydligt billigare. Men lerhusen utgör fortfarande en betydande andel av bostäderna i de rurala områdena. Ett karakteristiskt drag för hus i regionen är det tjocka isoleringsmaterial som blir tjockare med åren, isoleringsmaterialet läggs på valvtaket vilket resulterar i väldigt tunga och farliga hus. Det finns flera typer av lerhus som byggs med saltorkade tegelstenar men det finns även så kallade ”Chineh” hus. Material består i huvudsak av lera som bearbetats med fötterna och där endast vatten och hö blandats med massan. Detta material används oftast till gårdsmurar eller skyddsmurar men det händer fortfarande att det används till bärande väggar och finns än idag i småstäder som Bam, Baravat och Ajabshir.

Ur jordbävningssynpunkt är lera ett svagt och tungt material som lätt går sönder när de utsätts för kraftiga vibrationer och rekommenderas inte som ett byggmaterial av iranska myndigheter. De äldre kvarteren och nordöstra delarna av Bam jämnades med marken och det var endast några enstaka hus som stod kvar dock med allvarliga skador. Skadorna vara allvarliga i de väggar som var vinkelräta med jordbävningsriktningen. Husen som hade cylinderformade tak och men som undkom kollaps fick allvarliga skador i de väggar som var vinkelräta mot horisontalaxeln. Detta på grund av dålig förbindning mellan husets väggar och tak samt i vissa fall för långa väggar

parallellt med horisontalaxeln. Många liv hade kunnat räddas om husen hade kompletterats med moderna material och med moderna jordbävningssäkra metoder och om myndigheterna hade haft större kontroll i regionen. De flesta lerhus hade allvarliga systemfel som till exempel onödigt tunga tak som blivit tyngre med åren.



Fig. 37. Bilden visar hur massiva väggar behöver vara för att klara av krafterna från valvtaken. Kraftiga väggar attraherar större tröghetskrafter.



Fig. 38. Gamla kvarteret i Bam.



Fig. 35. Lerhus med massiva väggar.



Fig. 39. Lerhus.(Prof. M. R. Maheri)



Fig. 37. Traditionellt lerhus

4.4.3 Tegelhus

Sedan 1960 har den vanligaste hustypen varit bärande väggar av bränt tegel och i de flesta fall med stålramar. Fram till jordbävningen i Bam var det vanligt att golven byggdes med stålbjälkar eller med betongbjälkar med 1 meters avstånd mellan bjälkarna. Golven var antingen av jack-arch tegelgolv eller också av stålarmert tegelblockgolv mellan bjälkar. Dessa golv var den störta orsaken till varför så många omkom under jordbävningen, de boende hade ingen chans att ta sig ut ur huset när taket eller golven rasade. När iranska myndigheter införde *Seismic Safety Code, Standard No. 519* så belyste man vikten av horisontella och vertikala band men det dröjde flera decennier och flera katastrofala jordbävningar innan denna rekommendation blev standard. Trots att det blev krav på horisontella och vertikala band för nästan 50 år sedan så finns det fortfarande väldigt många hus utan vare sig horisontella eller vertikala band och än idag så byggs det tegelhus runt om i landet utan dessa viktiga band.

De främsta orsakerna till varför tegelhus utan band kollapsade:

- Samtliga av husets plattors horisontella rörelser blev för kraftiga. Bjälkarna hamnade ur sina positioner vilket resulterade i att golven rasade. Takplattan gled ur sin position och föll ner och i många fall drog med hela huset i fallet.
- Dåligt byggda hus i kombination med dåliga material och dålig fogmassa
- Avsaknaden av box-effekten



Fig. 40. Jack-arch golv av tegel



Fig. 39 Håltegelblock



Fig. 41. Avsaknaden av band. Bostadshus i Baravat med stålbalkar på taket. Samtliga i familjen överlevde tack vare att de valde att sova ute på gården efter förskälven.



Fig. 42. Studenters sovsal kollapsade under jordbävningen och många av studenterna dog. (Earthquake Engineering Field Investigation Team, EEFIT)



Fig. 43. Samtliga kollapsade hus i denna bild saknade jordbävningresistenta band. Byggnaden som ensamt står kvar var det enda i kvarteret som hade band och visar vikten av dessa horisontella och vertikala band. (EEFIT)



Fig. 44. Kharazami grundskola kollapsade i huvudsak på grund av avsaknaden av horisontella och vertikala band. Även med band så hade denna skola utsatts för allvarliga skador på grund av vattentanken som hade placerats på taket. (IIEES)



Fig. 45. Dålig förbindning i hörnen samt avsaknaden av vertikala och horisontella band.



Fig. 46. Avlång mur utan stödpelare och band.(IIEES)

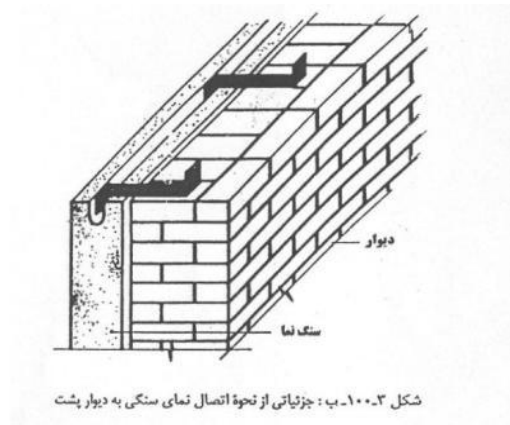


Fig. 47. Iranska byggregler säger att en fasad av tegel bör ej överstiga 5 centimeter i tjocklek, den gör det så ska tegelskiktet armeras med klamrar. Många saknade denna armering och många av byggnaderna som hade detta hade otillräcklig armering. Klammarna ska sitta högst 0,5 meter ifrån varandra i höjdlid och 1 meter i längdriktningen. (IIEES)



Fig. 48. Många av trapphusen kollapsade. Trapphuset måste betraktas som ett hus för sig och byggas så att tröghetskrafterna kan överföras på ett säkert sätt till våningen under. De allra flesta trapphus byggs ihop med resten av huset med dåliga förbindningar, vilket leder till osymmetri i vikten och i elevation vilket medför skadliga vridmoment. (IIEES)

4.4.4 Stålhus

Iranska byggregler har begränsat tegelhusen till högst två våningar. Ska byggnaden bli högre så måste stommen vara av antingen stål och betong. Fördelarna som reducering av husets totala vikt och att det är enkelt att bygga med har gjort materialet populärt och till första hands val för många. Tyvärr så är det enkelheten som i många fall varit till dessa byggnaders nackdel och även orsaken till varför så många stålhus har kollapsat i Bam. Det fanns många byggnader i Bam som hade byggts med stålpelare, även småhus, och det var en bred variation av skadorna på dessa hus. Det fanns hus som klarade sig undan med endast mindre ytliga skador samtidigt som andra liknande stålhus hade kollapsat totalt. Främsta orsakerna till varför stålhus kollapsade var:

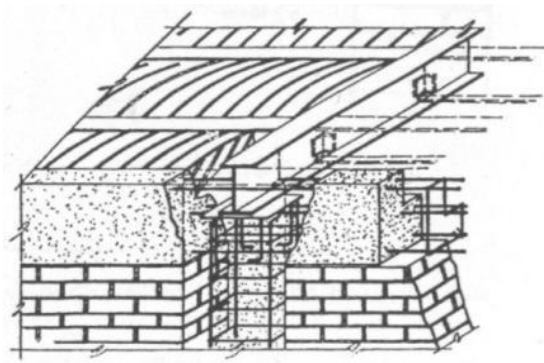
- Dåligt byggda hus med svag förståelse för jordbävningsresistent design.
- Dålig förbindning mellan husets viktiga partier.
- Otillräcklig svetsning.



Fig. 49. Visserligen ihåliga tegelstenar och stålstomme men ett alldeles för tjockt lager av takisolering. (IIEES)



Fig. 50. Bra byggt golv där balkarna inte lossade från varandra men väggarna saknade diagonala stödbalkar i väggarna (bracing på engelska). Stålpelarna kollapsade av vridmomenten. (IIEES)



شکل ۴۶-۳ هـ: اتصال درون کلاف روی ستون بتنی

Fig. 51. Enligt iranska byggregler ska balkar fogas ihop med hjälp av stålplattor för att inte lossna från varandra. Balkarna vid hörn ska fogas ihop med en basplatta som fästs fast på betongpelare. (IIEES)



Fig. 52. Pelaren har böjts på grund av att stålplattorna, som lappar ihop stålpelarna, var för långt ifrån varandra. Iranska byggregler kräver att de ska vara högst 50 centimeter ifrån varandra. Pelaren utsattes därför för kraftiga vridningsmoment. (IIEES)



Fig. 53. Första våningen används som ett garage. Många hus i iranska städer har garage på första våningen. I detta fall så har man valt bort diagonala stödbalkar där garagedörren ligger och resulterade i att första våningen agerade som en mjuk våning. Ett annat problem som kan ses i bilden, men som inte orsakade skador på huset, är att i ovanvåningarna så har man valt att använda stålstänger som diagonala stöd trots att iranska byggregler kräver att dessa endast ska byggas med I eller U formade stålpelare. Detta för att pelarens centerlinje ska vara parallell med väggens centerlinje. Stålstänger kan användas till mindre viktiga konstruktioner som murar. Bilden ovan visar vikten av diagonala stöd eftersom väggarna i våningarna ovan klarade sig utan skador. (IIEES)



Fig. 54. Olika axellinjer mellan balken och stålpelaren (IIEES)



Fig. 55. Den numera förbjudna kvadratiske pelaren. Pelaren släpper där den har hopfogats. (IIEES)



Fig. 56. Dålig fog mellan basplattan och de mindre plattorna på pelaren. Detta ledde till att pelaren blev fristående. Dålig fogning var utbrett problem i Bam. Bilden längst till höger visar en bra fogad platta.(IIEES)



Fig. 57. Basplattan lossnade från fundamentet. Iranska experter har kommit fram till att bästa basplattan är när stänger från fundamentet går genom plattan och en mutter låser ihop dessa stänger med plattan. I vissa fall saknade stänger en krok i betongen och därför släppte. Pelaren fogas sedan ihop med basplattan med hjälp av mindre stålplattor. Att basplattor eller att pelare släppte från basplattan var utbrett problem. (IIEES)



Fig. 58. Korrekt placerade plattor på pelaren

4.4.5 Betonghus

Betong är det näst bästa materialet, trä är det bästa, att använda i jordbävningsdrabbade länder och betong byggnader, om korrekt byggda, klarar väldigt bra att stå emot kraftiga jordbävningar utan att drabbas av större skador. Betonghus är tyvärr ganska ovanligt i små fattiga städer; endast ett fåtal av husen i Bam var av betong. En förklaring kan vara att de boende dem själva inte kan vara med och bygga huset och priset för dessa hus blir därför för högt för många. När det gäller armerade betonghus i Bam så var i stort sett samtliga byggnader offentliga och generellt klarade dessa byggnader sig väl under jordbävningen. Men på grund av dålig betongkvalitet, utbildad arbetskraft, dålig design och otillräcklig armering skadades även en stor del av dessa hus, vissa så pass allvarligt att de fick rivas.

Bristerna med betonghusen:

- Svaga förbindningar
- Otillräckligt antal horisontella stänger i armeringen
- Armering för nära kanterna i betongen
- Dålig kvalitet på betongen
- Dålig arbetskraft



Fig. 59. De allra flesta betonghus brast i förbindningarna. I detta fall så är det en stål balk som penetrerar en pelare. Detta leder till att det inte finns någon plats för horisontella stänger i pelaren just där balken penetrerar; dessa horisontella "bälten" ska binda ihop de vertikala stängerna. Detta är ett systemfel. (IIEES)



Fig. 60. Ett hus som klarade sig från att kollapsa eftersom man använt sig av både horisontella och vertikala band. Muren, utan horisontella band, kollapsade i jordbävningsriktningen.

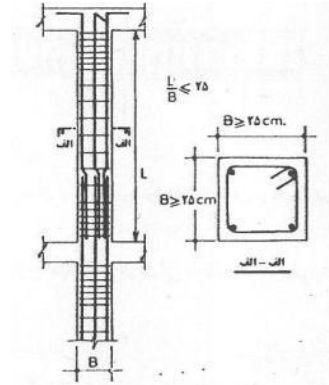
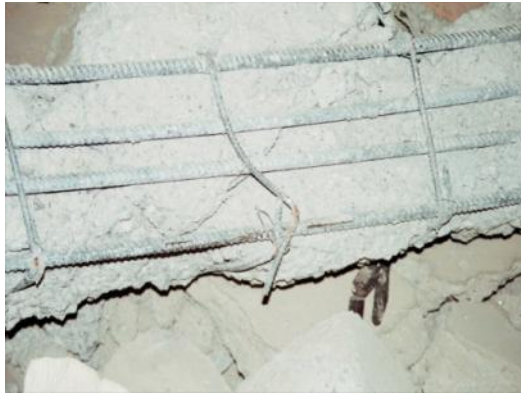


Fig. 61. Armeringen är för nära kanten i pelaren och dess bindande effekt kommer därför att minska. Här syns även att en av horisontella stängerna saknar 135° krok, detta förhindrar de vertikala stängerna från att tryckas ut under starka horisontella rörelser. Iranska byggregler kräver att 1/3 av pelarens längd ska vara täckt med horisontella stänger. Ett fåtal av undersökta pelare hade tillräckligt många stänger. (IIEES)



Fig. 62. Armeringsstänger som är för nära kanten och som dessutom är ogängad. (IIEES)



Fig. 63. Avsaknaden av 135° kroken i det horisontella bältet ledde till att de vertikala stängerna kunde tryckas ut och krossa betongen. Ett annat problem som uppstod i pelare var att pelare oavsiktligt fått flera skikt. Pelare byggs upp i flera omgångar, våning för våning och när man påbörjar ett nytt skikt så är det viktigt att man rensar på toppen av pelaren och skrapar bort vattnet som tryckts upp under torkningstiden. (IIEES)

4.5 Samhällsviktiga konstruktioner

4.5.1 Sjukhus

De tre största sjukhusen i Bam drabbades hårt av jordbävningen och skadades till den grad att de inte längre kunde användas. Detta var likadant med vårdcentralerna i Bam och Baravat. Utöver detta omkom många av vård- och räddningstjänstens personal och många av de överlevande fick allvarliga skador och fick transporteras till angränsande städer eller provinser för att få vård. Många omkomna kunde ha överlevt om sjukhusen och vårdcentralerna inte hade drabbats så hårt som de gjorde. Imam Khomeini Sjukhuset var stadens största och viktigaste sjukhus och skadorna blev så omfattande att verksamheten inte kunde upprätthållas, istället använde man sig av tält utanför sjukhuset. Det var en kombination av flera allvarliga brister som ledde till sjukhusets kollaps, det ironiska är att akuten kollapsade först. Denna byggnad var av bärande tegelväggar och taket vilade på stålbalkar. På grund av det varma klimatet i regionen blev taket väldigt tjockt och tungt med flera lager av tegelstenar. Takets tyngd ledde till att det kollapsade först. Både taket och fundamentet var stålarmert men det fanns ingen vertikal armering som band ihop taket med fundamentet, det fanns inte heller någon horisontell armering i väggarna ovanför öppningar. Sjukhusets väggar var dessutom långa och saknade stödpelare i ytterväggen och det fanns dessutom inte tillräckligt med antal inomhusväggar.

Bristerna i Imam Khomeini sjukhuset sammanfattas av:

- Otillräcklig vertikal och horisontell armering
- Avsaknaden av diagonala stödbalkar
- Kvaliteten på betongen
- Osymmetri i plan
- Takets vikt



Fig. 64. Imam Khomeini sjukhuset. För tjockt och tungt tak med flera lager av tegelstenar (IIEES)



Fig. 65. Taket kollapsade in då balkarna gled ifrån varandra. Dålig betongkvalitet ledde till att betongen som fungerade som murbruk pulveriserades. (IIEES)



Fig. 66. Takets tyngde skapade för kraftiga tröghetskrafter (IIEES)



Fig. 67. De longitudinella stängerna skulle bindas ihop med en krok med 90° vinkel i hörnen, men bilden visar att armeringen når precis till hörnen utan någon krok. Dessutom ska stängerna överlappa varandra där de tar slut vid långa balkar. Armeringen skulle överlappa varandra där de möttes.



Fig. 68. För långa väggar utan stöpelare eller vertikal armering. Huset hade dessutom alldeles för många hörn, sjukhuset borde ha delats in i flera mindre byggnader.



Fig. 69. Ett vanligt problem i Iran är halvväggar på taken och som oftast inte sitter bra ihop med taket. Vid jordbävningar faller dessa ner på gatan. Syftet med väggarna är estetiska samt för att ge skugga på taket.(IIEES)



Fig. 70. Stora stenar i betongblandningen var ett problem som inte var begränsat till ett fåtal hus, det var till och med en av anledningarna till varför betongen i Baghiatollah Sjukhuset brast. Bilden visar betongblandningen i en mur som tillhör en skola. (IIEES)



Fig. 71. Baghiatollah sjukhuset. Tredje våningen kollapsade in på den andra våningen. Dålig kvalitet på betongen samt osymmetrisk tredje våning är de bidragande orsakerna. (IIEES)

Det fanns flera sjukhus och vårdcentraler som fortfarande efter jordbävningen var verksamma men samtliga hade mer eller mindre allvarliga skador. Det största sjukhuset i Bam rasade helt och hållet medan Baghiatollah Sjukhuset, stadens näst största, fick allvarliga skador men på de delar som inte helt hindrade deras verksamhet. Baghiatollah sjukhuset hade samma problem som de övriga sjukhusen; armeringen och kvaliteten på betongen var inte tillräckliga samtidigt som det fanns osymmetri i plan och elevation. Sjukhusen i Bam var i otillräckliga ur jordbävningssynpunkt och sjukvårdshjälpen från de återstående sjukhusen var inte tillräckligt för de tusental människor som skadades.

4.5.2 Elstolpar

Många av stadens elstolpar rasade på grund av brister både i designen och i konstruktionen. Många av elstolparna var gamla och med en design med hål med jämna mellanrum i pelaren för att spara på betong. Armeringen i de flesta av de kollapsade elstolparna var dessutom av den gamla typen där den inte var gängad och fick därför inte bra fäste på betongen vid rörelser. Samtliga elstolpar sprack på de ställen där hålen fanns. Designen av elledningarna ska följa samma princip som gäller för alla andra konstruktioner när man ska hantera tröghetskrafter. De tröghetskrafter som bildades ovanför hålen försökte pressa sig igenom det lilla utrymme som finns bredvid hålen. Pelarna brast just på den trånga ytan. Numera är denna typ av design förbjudet och man måste istället fylla igen hålet och därmed skapa en *shear wall* så att tröghetskrafterna utan hinder kan föras ner i marken. För att spara på betong så är det vanligt att man minskar på betongen på de ställen där det tidigare var hål dock utan att minska på bottenarean.



Fig. 72. Gamla elstolpar. (IIEES)

4.5.3 Skolor

Skolorna drabbades hårt av jordbävningen men skolbyggnader som var byggda av betong eller stål klarade sig betydligt bättre än skolor med tegel. Skolor med platta tak eller valvtak rasade fullständigt med undantag för ett fåtal (dock inte byggnader av betong eller stål). Främsta orsakerna är densamma som för bostäder att taken var alldeles för tunga i kombination med dålig arbetskraft.

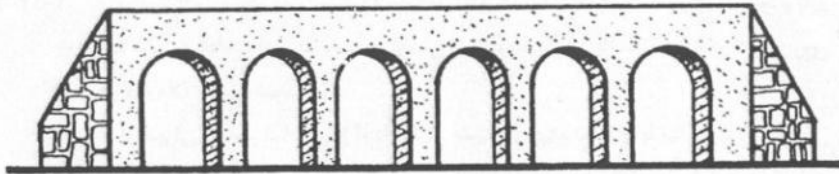
Iranska skolor omges alltid av gårdsmurar, och dessa murar rasade in på skolgården även på bra byggda skolor. Murarna som omger skolorna samt utetoaletterna som finns på skolgården hade fram till jordbävningen inte klassats som viktiga, och de hade därför byggts på traditionellt sätt. Samtliga murar som var vinkelräta mot jordbävningens riktning hade kollapsat på flera ställen och vissa hade kollapsat helt och hållet. Iranska byggregler rekommenderar dock att dessa murar skulle delas in i mindre partier med hjälp av stödpelare eller horisontella/vertikala band men detta ignorerades och byggdes på det enklaste möjliga sätt. Numera anses även murarna samt toaletterna vara lika viktiga som skolbyggnaden eftersom det har framkommit att skolungdomar sitter vid dessa murar under rasterna för att söka skydd mot solen. Om en jordbävning inträffar under dagtid och en elev sitter inne på toaletten så har eleven inte tid för att stanna kvar i toaletten utan måste ta sig ut med en gång. I ett islamiskt land som Iran där det anses vara en stor skam för en kvinna att inte täcka sig med en mantel så uppstår det ett problem för en kvinnlig student eftersom denne behöver mera tid för att ta sig ut ur toaletten, tid som eleven kanske inte har. Jordbävningar är vanliga i dessa regioner varav de allra flesta är mindre skalv som inte leder till allvarliga skador, eleven försöker därför i första hand att täcka sig innan hon tar sig ut ur toaletten och inser därför inte vidden av faran förrän det är för sent.



Fig. 73. Skolor med platta och tunga tak samt med tjocka väggar. (EEFIT)



Fig. 74. Det är inte bara skolor som har problem, även bostadshus har utomhustoaletter byggda med lera.



شکل ۳-۹۸-۵: کنترول رانش با کمک قوس کمکی

Fig. 75. Fyrtio år gammal skola som klarade sig väldigt bra. Valvtaken har byggts intill varandra och kunde hjälpa varandra mot horisontella krafter. Ändarna hade stödpelare och var tillräckligt starka för att ta emot tröghetskrafterna från taken, dessutom var lokalerna indelade i mindre klassrum. Skolan var byggd av obrända tegelstenar och utan varken horisontella eller vertikala band. Sprickor uppstod dock in mitten av valvtaken, förbindningarna samt vid inomhusväggarna. (IEES)

4.5.4 Räddningstjänst

Räddningstjänsten drabbades hårt av jordbävningen och det tog flera kännbara och livsviktiga timmar innan drabbade kunde få hjälp från angränsande städer och byar. Iranska Röda Halvmånen var väldigt effektiva och snabba och samarbetet mellan iranska myndigheter och internationella biståndsorganisationer var enligt rapporter idealiska. Tillfälliga bostäder och tält sattes upp för de överlevande.



Fig. 76. Brandkåren drabbades hårt av jordbävningen och det dröjde flera livsviktiga timmar innan hjälp från angränsande städer och byar nådde Bam och Baravat. Bilderna ovan visar även tillfälliga hus till de överlevande. (IIEES)

Röda Halvmånens lagerhus klarade sig relativt bra och undkom kollaps men allvarliga skador uppstod vid hörnen samt vid gavlarna. Väggarna var nämligen alldeles för höga och iranska byggregler kräver diagonala stödbalkar i väggar som är högre än 4 meter, något som denna byggnad saknade. Väggarna utgjordes av tegelstenar som hade byggts ända in på stålstommen, när stålstommen vibrerade kraftigt under jordbävningen så fanns där inget utrymme för stålpelarna att röra sig på. Resultatet blev att tegelstenarna närmast stålstommen pulveriserades, men även att stålstommen utsattes för horisontell förflyttning. Byggnaden rasade visserligen inte men skadorna orsakade oro att byggnaden kunde rasa. Myndigheterna valde därför att inte använda byggnaden som utrymningslokal för överlevande som förlorat sina bostäder.



Fig. 77. Röda Halvmånens lagerbyggnad. (IIEES)

4.5.5 Tempel

Tempel anses vara betydelsefulla inte bara av religiösa skäl men även för att de har viktiga samhälliga funktioner efter katastrofer. Tempel och stora lokaler kan omvandlas till viktiga räddningscentraler, till temporära sjukhus men även till temporära härbärgen för boende som förlorat sina bostäder. De flesta av moskéerna i Bam och Baravat kollapsade till grunden.

Moské Abolfas

Den nya stora moskén som var under konstruktion vid den tiden klarade sig undan med endast lindriga skador. Moskén byggdes med jordbävningresistent design med både horisontella och vertikala band.

Konstruktionens fördelar

Kupolen:

- Stomme av stålbalkar
- Kupolen har horisontella och vertikala stänger av stål
- Ihålig och lättare tegel mellan dessa stänger

Entrén:

- Två stålpelare vid valvet för att hindra entrén från att böjas ut av vridmomenten

Minareten:

- Stålarmerad betong
- Betongen hindrades från att tryckas ut av 2 meter långa stänger
- Ihåliga minareter för att reducera vikten



Fig. 78. Moské Abolfas efter jordbävningen. Jordbävningens höga frekvens ledde till att minareterna och entrén betedde sig på olika sätt. Entrén rörde sig mera horisontellt jämfört med minareterna men undkom allvarliga skador tack vare de horisontella banden vid entrén. (IIEES)



Fig. 79. Moské Abolfas. Väggen mellan fönstervalven under kupolen fick X sprickor endast på de väggar som var vinkelräta mot den horisontella kraften. Anledningen beror på ett konstruktionsfel mellan det horisontella bandet och kupolen. Kupolen skulle ha fortsatt hela vägen ner till det horisontella bandet men byggdes istället en meter ovanför bandet. Stålbandet som placerats under kupolen var otillräckligt för att klara av ovanifrån kommande tröghetskrafterna. (IIEES)



Fig. 80. Moské Abolfas. Kupolen har många mindre band mellan stålstommen över hela konstruktionen men man hade glömt några och kupolen skadades därför på de ställen där banden saknades. (IIEES)



Fig. 81. Äldsta moskén i Bam, Imam Zeid Moskén, kollapsade helt. (IIEES)

4.5.6 Kommunikation och transport

Skadorna på vägar och broar i Bam och omkringliggande byar var relativt små och kunde användas i det livsviktiga återuppbyggnadsarbetet samt för att föra de skadade ut ur staden. Vissa delar av vägar fick sprickor och stora hål som utgjorde dock fara under de första timmarna av jordbävningen innan man i morgonljuset kunde se skadorna, men inga av vägarna eller broarna behövde stängas. Men stora delar av vägnätet inne i Bam slogs ut, särskilt i det mest drabbade kvarteren i nordöstra och sydöstra delarna och områdena som löpte längs förkastningen. Det var dock inte skador i vägnätet som stängde vägarna utan det var främst husspillror. Många kvarter hade tätt byggda hus och det med många trånga gränder som gick djupt in i dessa kvarter.

Kommunikationstornet klarade sig undan skador och både det fasta samt mobila telefonnätet återupptogs så fort jordbävningen var över.

4.5.7 Flygplats

Flygplatsen utsattes mest för ytliga skador där fasaden på vissa ställen förstördes och sprickor bildades både på utsidan och insidan av flygplatsterminalen. Kontrolltornet fick lindriga skador med krossade rutor men dessa skador ledde till att viktig utrustning i tornet förstördes och flygplatsen var därför tvungen att hållas stängt under flera viktiga timmar. När flygplatsen återigen öppnades för trafik koordinerades allt bistånd till denna flygplats vilket gjorde arbetet mycket lättare för utländska biståndsarbetare.



Fig. 82. Flygtornet i Bam flygplats.(IIEES)

4.5.8 Vattenkanaler, Qanats

Qanats är underjordiska kanaler som de gamla perserna utvecklade för mer än 3000 år sedan för att transportera grundvatten från bergen till torrare områden. Tekniken spreds till alla delar av världen och var det mest effektiva sätt att sprida grundvatten och används än idag i vissa delar av världen. Fram till 1950 talet stod detta system för 70 procent av vattentillförseln till städerna i Iran. Sedan dess har användandet av tekniken successivt minskat och täcker idag endast 10 procent av vattenbehovet i Iran. Men i vissa delar av landet som i Bam är tekniken fortfarande det dominerande vattensystemet. Vattenkanalerna stod för 50 procent av stadens vattenförsörjning och var viktiga för många av böndernas ekonomi. Det fanns 126 aktiva kanaler före jordbävningen samt många okända och uttorkade kanaler som med tiden försvunnit. Många av kanalerna kollapsade och i vissa enstaka fall ledde det till att hus som byggts ovanför kollapsade eller utsattes för allvarliga skador. Vattentillförseln till många av jordbruken och boende ströps omedelbart när ungefär 40 procent av kanalerna förstördes. Flera av kollapsen ledde till farlig kvicksand, kvicksand som skadade flera konstruktioner. Gamla vattenkanaler som försvunnit från kartorna orsakade allvariga skador på hus som byggts ovanpå dem. På många platser särskilt i södra delarna av Bam och vid gränsen mellan Bam och Baravat bildades kollapsade vattenkanaler sjunkhål i marken.



Fig. 83. Gammla vattenkanal som gick precis under huvudingången till Bam. (IIEES)

4.6 Övriga byggnader

Iranska banker strävar alltid efter stora och fräscha lokaler med pampiga och påkostade entréer. Samtliga banker i Bam hade antingen betong- eller stålstomme och klarade sig därför betydligt bättre än bostadshusen, med några enstaka undantag. Betongkonstruktionerna klarade sig bättre än stålkonstruktionerna. Men det förekom skador på dessa byggnader som lätt hade kunnat undvikas om man följt iranska byggregler.

Skador på dessa byggnader:

- Felkonstruerade fasadplattor
- Dåligt kalkylerade utbyggnader
- Felaktig design



Fig. 84. Fasadplattor som släppt. Fasadplattor ska egentligen ha spår på baksidan för att få bra fäste i murbruket. När det gäller större plattor så ska de även ha diagonala ståltrådar, som fungerar som armering. Dessa plattor, som även installeras inomhus, utgör en stor fara när de faller ner från väggen. (IIEES)



Fig. 85. Entréer till banker utgör ett vanligt problem i Iran. Det är inte ovanligt att banker i efterhand bygger ut nya entréer och ansluter det med resten av byggnaden. Problemet är att byggnaden då får en osymmetrisk form och komplicerade vridmoment uppstår vid dessa utbyggnader. Entrén ska istället konstrueras som en byggnad för sig och inte direkt byggas ihop med huvudbyggnaden, detta för att hindra överföring av tröghetskrafter från huvudbyggnaden till entrén och tvärtom. (IIEES)



Fig. 86. Felplacerade diagonala stödbalkar i fronten. Syftet var att ha stora fönsterpartier men resultatet blev att de diagonala stödbalkarna tryckte ut väggen. En annan bank kollapsade till grunden på grund av att man byggt ut en mezzanin. Det nya golvet tryckte ut väggen. (IIEES)



Fig. 87. Mjuk våning. Det är väldigt vanligt i Iran att första våningen på bostadshus består av affärer och butiker. För att få plats med stora fönsterpartier samt ingångar till verksamheterna så väljs diagonala stödbalkar bort på första våningens framsida. Men de installeras på gavlarna samt baksidan. Oturligt så var gavlarna på byggnaden ovan parallella med jordbävningens riktning och framsidan var vinkelrät. Första våningen blev därmed en mjuk våning och kollapsade medan resten av huset hölls ihop. (IIEES)

4.7 Arg-e-Bam

Skadorna på Citadellet samt gamla stan blev förödande (90-100 procentiga skador). Jordbävningen inträffade under natten och endast 3 personer befann sig i området då, 2 vakter och en konservator. Båda vakterna dog och det ger en fingervisning om vad som hade hänt om det hade skett under dagen med massvis av turister. Citadellet och gamla stan återuppbyggs med hjälp av italienska och japanska forskare.



Fig. 88. Före och efter bilder av Arg-e-Bam (IIEES)



Fig. 89. Före och efter bilder av Arg-e-Bam (IIEES)



Fig. 90. Före och efter bilder av Arg-e-Bam (IIEES)

4.8 Statistik

4.8.1 Bam och Baravat

Beräkningar gjorda efter jordbävningen visar att av de 25 700 byggnaderna (alla typer av hus) i Bam och av de 7200 byggnaderna i Baravat så utsattes 85 procent respektive 61 procent för 100 procentiga skador. Dessa siffror berör samtliga konstruktioner. Antalet döda uppgick till ungefär 30 procent av befolkningen i Bam och 7 procent av befolkningen i Baravat. De flesta omkom i de nordöstra och sydöstra delarna av Bam; dessa områden dominerades av traditionella lerhus. Antalet döda i dessa två områden uppgick till 50 procent av totala antalet omkomna i Bam. Bostadshusen i Baravat var med undantag för några få byggt traditionellt. En förklaring till varför färre dog i Baravat jämfört med Bam är att många familjer hade möjligheten att sova på trädgården efter förskälven, vilket många i Bam inte hade möjlighet att göra.

City	Jurisdiction province	Complete collapse		Damaged		No damage		Deaths	Injured people	Missing	Survived
		Houses*	Others	Houses*	Others	Houses*	Others				
	Fars	1,633	1,369	44	267	0	9	2,132	433	18	5,692
	Gilan	1,487	643	1	0	0	0	1,127	692	39	6,376
	Hormozgan	1,684	1,289	48	61	1	3	1,566	758	9	7,078
	Isfahan	896	317	16	40	0	0	956	864	5	2,879
Bam	Khorasan	1,324	791	198	73	19	48	2,180	726	25	6,439
	Markazi	1,254	1,536	8	25	3	1	3,403	749	16	2,005
	Mazardaran	1,296	563	49	557	4	14	659	188	14	5,876
	Tehran	2,931	1,164	15	54	1	0	6,059	2,694	211	7,104
	Yazd	1,873	999	78	313	1	8	3,842	684	74	5,236
	Subtotal**	14,378	8,671	457	1,390	29	83	21,924	7,788	411	48,685
Baravat	Sistan & Baluochest	2,804	1,838	33	2,536	1	5	1,112	578	36	13,598

Fig. 91. Statistik över antalet förstörda hus och döda. (Yasuko Kuwata, Shiro Takada och Morteza Bastami, 2005)

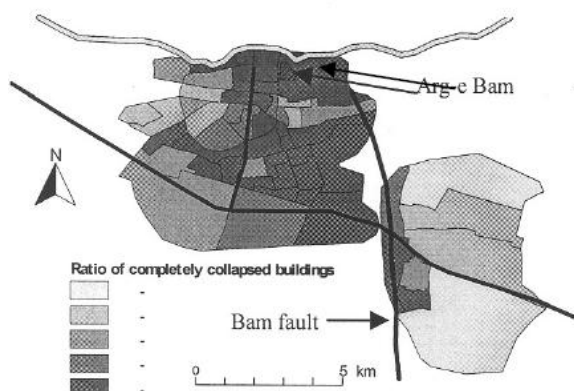


Fig. 92. Förstörda byggnader i Bam och Baravat. Bilden ovan visar att byggnaderna i Baravat klarade sig bättre än i Bam. Den lilla springan mellan nordöstra Bam och sydöstra, det ljusgråmarkerade området, klarade sig väl trots att det ligger precis intill den dolda förkastningen. En förklaring är att få av husen i detta område hade valvtak, de flesta hade platta tak. (Yasuko Kuwata, Shiro Takada och Morteza Bastami, 2005)

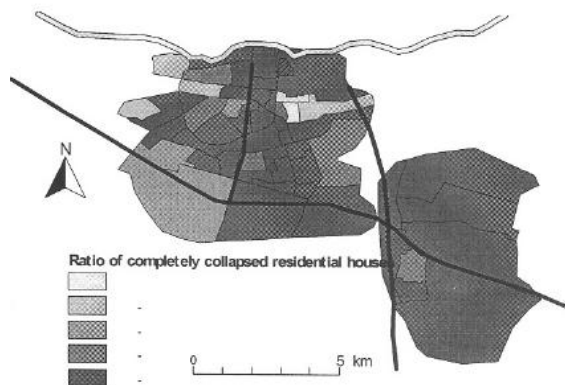


Fig. 93. Bild visar att antalet förstörda bostadshus i Baravat är större än i Bam. 95 procent av bostadshusen i Baravat kollapsade helt mot 60,9 procent av bostadshusen i Bam. Av bilden framgår det även att nordöstra och sydöstra delarna av Bam drabbades hårt av jordbävningen; den dolda förkastningen går längs dessa områden. (Yasuko Kuwata, Shiro Takada och Morteza Bastami, 2005)

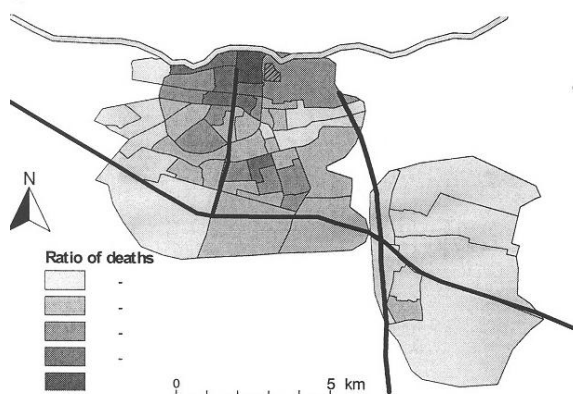


Fig. 94. Mer än 90 procent av de omkomna i Bam och Baravat dog i hus av antingen saltorkade tegelstenar eller i hus av bränt tegel. (Yasuko Kuwata, Shiro Takada och Morteza Bastami, 2005)

Typ av byggnad	Döda	Skadade
Lerhus av obränt tegel	55 %	39 %
Tegelhus av bränt tegel	44 %	52 %
Stålarmerade betonghus	1 %	1 %
Stålhus	0.5 %	8 %

4.8.2 Jordbävningen i jämförelse

Omfattningen av bristerna i konstruktionerna i Bam och Baravat kan belysas med hjälp av följande formler. Omfattningen av jordbävningen i Bam kan jämföras med en motsvarande jordbävning i Japan, detta för att förstå kopplingen av frekvensen av omkomna till kollapsade hus.

Jordbävningen i Bam:

$$D = 0.988H$$

där H är kollapsade hus och D är antalet döda.

Jordbävningen i Kobe, Japan 1995:

$$D = 0.05H^{0.886}$$

Jordbävningen som drabbade Kobe var något starkare än den i Bam och trots detta så är antalet döda jämfört med kollapsade hus i Kobe betydligt lägre än i Bam. Andelen omkomna i Bam i förhållande till kollapsade hus var 50 gånger större och där i stort sett ett kollapsat hus motsvarade ett dödsfall.

Konstruktionerna i Japan har med åren blivit bättre och andelen trähus och betonghus i Japan är betydligt högre än i Iran.

4.9 Iranska byggnormer

4.9.1 Historia

Iranska jordbävningssnormer togs i bruk efter Buein-Zahra jordbävningen 1963 där 12000 dog och publicerades i *Seismic Safety Code, Standard No. 519*. Den nuvarande koden *Iranian Code for Seismic Resistant Design of Buildings* publicerades 1997 och har publicerats i två upplagor men ska nu uppgraderas till sin tredje version på grund av bristerna i Bam. Den nya upplagans främsta mål är att se till att byggnader kan stå emot en medelkraftig jordbävning utan större skador i de vitala delarna av huset, och stå emot starka jordbävningar utan att en kollaps inträffar. Normen är uppbyggt för att små hus ska byggas för att stå emot en eventuell jordbävning med sannolikhetsfaktor på 10 procent att det inträffar inom 50 år medan ett 50 m högt hus eller 15 våningshus ska konstrueras för en sannolikhetsfaktor på 99.5 procent att det inträffar inom 50 år. Iranska byggnormer har uppgraderats många gånger sedan 1963; förödande jordbävningar har fungerat som katalysatorer för dessa uppgraderingar eftersom de har visat bristerna med tidigare versioner.

4.9.2 Tillämpningen av iranska byggregler på landsbygden

Alla typer av hus fanns representerade i Bam före jordbävningen men det vanligaste var lerhus av obränt tegel där de boende antingen byggde husen själva eller anlidade mindre kvalificerade arbetare. I de nya byggregler som utformas av de iranska myndigheter ska varje nybyggt hus ha ritningar som måste godkännas av myndigheterna och en kvalificerad yrkesman måste godkänna samt göra stickprov på bygget. Men de praktiska effekterna av dessa

regler i rurala och fattiga områden är väldigt svåra att genomföra av den enkla anledningen att det är för få inspektörer för att kontrollera alla nya hus och det är dessutom inte alla som är villiga att samarbeta med myndigheterna. Det byggs fortfarande väldigt många nya hus och ombyggnationer i rurala områden och trots att inflyttningen till storstäder ökat rejält de senaste decennierna så är den naturliga tillväxten i småbyar och småstäder fortfarande stort. Det är betydligt lättare att göra regelbundna inspektioner av byggprojekten i storstäderna men att genomföra ordentliga och återkommande stickprov i rurala områden och i fattiga regioner som i Kerman är betydligt svårare. Invånarna i dessa områden i dagens Iran bygger med den farliga ekvationen att hålla byggkostnaderna nere genom att utföra det mesta själva med material och teknik som de behärskar.

5 Utvärdering av situationen i Bam och Iran efter jordbävningen

5.1 Sammanfattning av skadorna i Bam och Baravat

5.1.1 Tegelhus och lerhus

- Det torra och varma klimatet i regionen har lett till onödigt tunga tak och väggar, där det vattenavvisande kahgel är flera lager tjockt. De allra flesta hus i Bam och Baravat rasade på grund av just detta.
- Flerbostadshusen hade väldigt tunga golv och som var en rejäl extra last för de redan dåliga förbindningarna mellan balkar och pelare.
- Friliggande stålbalkar på väggkanterna vållade skador på väldigt många hus och i många fall ledde till total kollaps
- Avsaknaden av horisontella och vertikala band.
- Avsaknaden av box-effekten ledde till att de starkare väggarna inte kunde stödja och ta emot tröghetskrafterna från de svaga väggarna.
- De flesta halvväggarna på taken rasade på flera ställen.
- Felaktig installation av tegelfasaden på många hus.
- Fel konstruktion av fasadplattor där spår för murbruk samt ståltrådar saknades.
- Dålig kvalitet på murbruk; detta för att reducera kostnader för cement/kalk.
- Dålig arbetskraft.

5.1.2 Hus med stålstomme

- Alldeles för tunga tak och golv.
- Dålig förbindning mellan husets bärande delar; särskilt vid förbindningar.
- Dålig fogning.
- Felaktig och i många fall otillräcklig många diagonala stödbalkar med olika axellinjer.
- För stort avstånd mellan stålplattorna på pelare eller balkar.
- Felaktig konstruktion av basplattan.
- Många hus hade felaktig och förbjuden design.

5.1.3 Betonghus

- Svaga förbindningar
- Otillräckligt antal och ibland total avsaknad av horisontella armeringsstänger.
- Avsaknaden av 135° krok i armeringsstänger.
- Stålbalkar/pelare som går penetrerar bärande pelare.
- Armering som installeras för nära kanter och ytor.
- Ogängade armeringsstänger.
- Felaktig hantering av armeringsstänger vid långa balkar och pelare
- Dålig kvalitet på betong
- Dåligt konstruerade hus
- Pelare som konstrueras i flera omgångar rensas inte innan en ny omgång.
- Oduglig arbetskraft med dålig förståelse av hantering av armeringsstänger och betong.

5.1.4 Viktiga byggnader

- Skadorna på viktiga byggnader följde samma mönster som för vanliga hus och bristerna ligger i kvaliteten på material och arbetskraft.
- Avsaknaden av ordentlig kontroll och utvärdering av samhällsviktiga konstruktioner från myndigheterna gjorde samhället särskilt känslig för jordbävningar och som dessutom försvårade räddningsarbetet.

5.1.5 Analys av bristerna

- Byggregler
 - Stora delar av staden förstördes av jordbävningen; oavsett vilken typ av byggnad det rörde sig om. Kontrollen av byggnaderna har

inte genomförts ordentligt och uppföljningen av själva bygget har i princip varit frånvarande. Bristen på ordentliga kontroller leder till dåligt genomförda hus och utgör oundvikligen fara för de boende. Iranska byggregler och rekommendationer borde vara tillräckliga för att ett hus ska klara sig utan större skador men dessa byggregler blir ju betydelselösa om inga ordentliga kontroller och uppföljning av bygget genomförs.

- Arbetskraften
 - Iran hade fram till jordbävningen i Bam inget krav på registreringen av arbetskraften; detta innebär att vem som helst kunde jobba på ett bygge utan ett krav på licens. Många hus med bra material hade klarat sig utmärkt om man byggt korrekt och enligt reglerna. Marginaler för hus med dåliga material som lera är väldigt små; designen av hus måste vara absolut korrekta. Många hus var felaktigt designade och förvaltade, med tunga tak som en av de största bristerna.
- Byggnadsmaterialen
 - Murbruket hos de flesta tegelhus var alldeles för dålig; för att minska kostnaderna för murbruket så har andelen kalk/cement reducerats kraftigt.
 - Hus har byggts med obrända tegelstenar och lera är ett otillräckligt material i jordbävningsdrabbade områden.

5.2 Efter jordbävningen

5.2.1 Jordbävningsmedvetandet i landet och iranska byggnormerna
Iranska byggnader kan delas in i tre tidsperioder. Den första perioden började 1963 i och med introduktionen av moderna jordbävningsresistenta koder. Här introducerades vikten av horisontella och vertikala band, men deras genomslag i det iranska byggandet blev inte särskilt stort och få kontroller gjordes på nybyggda hus. Betongproduktionen i Iran var sällsynt och dyrt likaså kostnaderna för armeringsstänger. Reglerna begränsades därför till ett fåtal myndighetsbyggnader samt för vissa viktiga byggnader, men ett stort antal av dessa byggnader ute i landet byggdes fortfarande med gamla metoder. Bostadshus var uteslutande byggda med traditionella metoder oavsett om det byggdes i rurala eller urbana samhällen. Första perioden varade fram till den kraftiga jordbävningen på 7.4 i richterskalan år 1990. Jordbävningen inträffade i nordvästra delarna av landet och ungefär 50 000 iranier omkom. Efter jordbävningen ökade kravet på skärpta iranska byggregler och betoningen av vikten på ordentlig armering samt horisontella band ökade från myndigheter. Folkets jordbävningsmedvetande skärptes efter jordbävningen och de krävde att bostadshusen som de köper ska klara av jordbävningar. Det skedde ingen omedelbar förändring av byggandet i Iran utan husen blev bättre med åren och

jordbävningsresistenta metoder spreds även till utanför storstäderna. Priset på cement, betong, stål och bränt tegel sjönk successivt med åren och bidrog kraftigt till att byggnaderna kunde byggas bättre. Största problemet i Iran var fortfarande kostnaden, särskilt ute på landet, men ett stort problem var även att byggare ville bygga billigt och för att få ut så stor vinst som möjligt. När det gäller privata nya byggnader eller tillbyggda delar ute på landet så valdes ekonomiska fördelar före jordbävningsresistenta fördelar och med metoder som behärskades av de boende själva. Trots ökande användning av jordbävningsresistenta metoder och bättre material visade det sig att den bristfälliga kontrollen av nya byggnader, kvaliteten på material och arbetskraften vara utgångspunkten för katastrofer och avgjorde utgången av framtida byggnaders beteende under jordbävningar. Detta lade grunden för introduktionen av den tredje och nuvarande perioden på byggnaderna i Iran. Denna period började i och med jordbävningen i Bam eftersom katastrofen belyste bristerna med tidigare byggregler och uppföljningen av dessa. Iranska myndigheter har utfärdat krav på nya iranska byggnormer för att täcka upp tidigare brister. Kravet på effektivare kontroller av jordbävningsresistenta system, kvaliteten på material och viss arbetskraft står högst på agendan. Myndigheterna har redan infört ST2800 som är en förenklad version av iranska byggregler med målet att förbättra enkla byggnader ute på landet som byggs med traditionella material och metoder. Däremot kommer kravet på registrering av byggarbetare inte införas i de nya reglerna, med undantag för svetsare. Iranska myndigheterna har hittills inte infört några strikta regler utan endast råd när det gäller småhus med bärande väggar av tegelstenar eller lera utan rekommenderar att man inte bygger dessa material. Myndigheterna kräver dock vertikala och horisontella band från 2 våningshus eller om huset är klassificerat av att vara av medium betydelse eller om det ligger på högriskområde. I de nya regler som utarbetas kommer kravet på ritningar gälla för alla hus och ritningarna måste godkännas av lokala myndigheter.

5.2.2 Ekonomiska förlusterna

De ekonomiska förlusterna blev katastrofala ur alla aspekter; 85 procent av infrastrukturen i staden Bam fick 100 procentiga skador, stadens näringsliv lamslogs totalt och en stor del av stadens invånare omkom direkt. Stadens två största inkomster, turismen och dadelproduktionen, drabbades hårt. Arg-e-Bam utsattes för nästan 100 procentiga skador och gamla Bam fungerade som stadens turismmagnet. Många dadelplantager antingen torkades ut eller så omkom plantageägarna. De direkta ekonomiska skadorna uppgick till nära 10 miljarder kronor och de långsiktiga effekterna känns än idag. Många av plantagen är än idag obrukbara och turismen genererar inte lika mycket som det gjorde före jordbävningen.



Fig. 95. Återuppbyggnaden av Arg-e-Bam går långsamt framåt. Många av plantagen används inte än idag.

5.2.3 Bam och Baravat idag

Det har varit en långsam återuppbyggnad av staden och det är för besökare svårt att tro att jordbävningen inträffade för 5 år sedan utan det ser mera ut som om det inträffade för knappt ett år sedan. Den ekonomiska situationen i Bam är fortfarande väldigt dålig med hög arbetslöshet och livet i staden inte återvänt till det normala samtidigt som befolkningen fortfarande plågas av förlusterna. Staden är än idag en stor återuppbyggnadsplats och det är väldigt få bostadshus byggts färdigt. Myndighetsbyggnaderna och moskéer är färdigbyggda och myndigheterna har gjort stora investeringar i centrala delarna av staden med bland annat investering på ett stort köpcentrum för att på detta sätt få fart på ekonomin. Men stora delar av befolkningen bor fortfarande i tillfälliga bostäder och de flesta butiker, företag samt stadens största bazar ligger bland containers. Trots att samtliga nya byggnaderna är betydligt bättre idag än före jordbävningen så har det tyvärr gjorts väldigt lite för att bygga upp staden. Myndigheterna har dock infört strikta inspektioner i samtliga nybyggda hus och samtliga hus måste ha godkända ritningar från myndigheterna. De största framstegen har dock gjorts av utländska biståndsorganisationer som avslutat sina projekt och det är bland annat projekt som vårdcentraler, skolor, universitet och sportarenor.



Fig. 96. En stor del av befolkningen bor fortfarande i tillfälliga bostäder.



Fig. 97. Så här ser det ut i stora delar av dagens Bam där tillfälliga bostäder ligger sida vid sida med nybyggda hus byggnader under konstruktion.



Fig. 98. Affärer och butiker har startats i containers. Stora delar av staden är fortfarande under uppbyggnad.



Fig. 99. Investering i affärslivet finansierad av iranska myndigheter.



Fig. 100. Nya myndighetsbyggnader. Fig. 101. Nybyggd moské



Fig. 102. Den nya brandstationen



Fig. 103. Ett sjukhus byggt av Turkiet.



Fig. 104. Nya elstolpar utan hålrum. Men det finns fortfarande många av den gamla designen.



Fig. 105. Europeisk finansierad vårdcentral



Fig. 106. Gymnasieskola byggt av japaner.

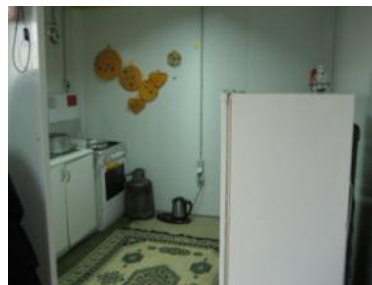


Fig. 107. Ett stort område med tillfälliga bostäder för föräldralösa barn, men som också används av familjer med många barn. Dessa byggnader har byggst upp av ett japaner.



Fig. 108. Idrottsanläggningar byggda av UNICEF.



Fig. 109. Skolor byggda av filippinska biståndsorganisationer. Filippinerna byggde sammanlagt 6 skolor i Bam och Baravat.

5.3 Framtiden

5.3.1 Åtgärder

För att förbättra situationen i Iran så måste följande åtgärder vidtas:

- Myndighetsorganiserade kampanjer för att göra samhället mera medvetet beträffande riskerna med jordbävningar, särskilt i högriskområden och rurala områden.
- Myndigheterna har efter jordbävningen försökt förenkla byggreglerna i Iran genom introduktionen av ST 2800, men särskilda utbildningar måste hållas till lokala myndigheter så att byggreglerna följs under hela byggprocessen. För att minska glappet mellan myndighetskraven och hur verkligheten ser ut ska introduktionen av ST 2800 nå de boende i alla samhällen runt om i landet särskilt i högriskområden och rurala områden.
- Höja utbildningsnivån angående jordbävningar redan i grundskolan samt fördjupning av konsekvenserna med felbygge i hantverkarutbildningar och ingenjörsutbildningar. De enkla och billiga åtgärderna måste belysas för framtida byggare.
- Långsiktig investering i byggmaterialsindustrin för att ytterligare sänka kostnaderna för cement, betong och stål.
- Långsiktigt hållbar stadsplanering.

5.3.2 Utvecklingen av Iranska byggnader

Trots tidigare mäktiga jordbävningar som orsakat stora katastrofer runt om i landet så har utvecklingen av effektivare metoder för att förbättra byggnader inte utvecklats lika snabbt som den borde ha gjort. Trots att effektiva byggregler infördes redan för 50 år sedan så har uppföljningen och utvärderingen av nya byggnader inte genomförts av lagstiftarna och myndigheterna. Detta kan förklaras av flera orsaker. Iran har genomgått stora förändringar de senaste 50 åren både politiskt och socialt med flera revolutioner och där det politiska etablissemanget i princip nollställts varje gång. Industrialiseringen av Iran inleddes sent och befolkningstillväxten blev större än utvecklingen av nya byggmetoder och material. Folk hade helt enkelt inte råd att köpa betong eller stål utan valde istället sämre men betydligt billigare och mera lättillgängliga material. Det nuvarande politiska systemet har haft stora problem i landet och internationellt och de kortsiktiga behoven har prioriterats högre, med behovet av säkra gränser, säkra grannar och införandet av nuvarande systemet i Iran. Iran genomgick dessutom ett långt och resurskrävande krig med sitt grannland Irak under nästan hela åttiotalet. Jordbävningar är likväl fruktade naturkatastrofer i Iran med mer än 140 000 omkomna bara de senaste 100 åren och de senaste jordbävningar har haft stor effekt på folkets och myndigheternas medvetenhet. Prioriteringen av jordbävningssäkra och resistent hus är betydligt högre nu än tidigare. Trots de enorma katastrofer som följt jordbävningarna så har de även fungerat som katalysatorer för uppgradering av iranska byggmetoder och förbättring av byggnadsmaterial. Kostnaderna för cement, kalk, betong och stål har sjunkit rejält sedan 1990. Byggnader i storstäder är idag betydligt bättre än vad var för 20 år sedan.



Fig. 110. Numera använder man sig mera av betong, stål och håltegel och samtliga nybyggda hus i Bam har horisontella och vertikala band. En av de största skillnaderna är att iranska byggare idag bygger lätta golv av antingen armerad håltegel eller frigolit med flytbetong på. De tunga golven och taken har utgjort det allvarligaste hotet mot byggnaderna, och reduceringen av vikten för golv och tak har stor betydelse för byggnadens beteende under en jordbävning. Frigolitgolven är idag det mest utbredda i Iran. Bilderna ovan är tagna i Bam.



Fig. 111. Frigolittak med flytbetong på används även på mindre hus. Dessa tak och golv är billigare än tidigare tak och golv med tegelstenar. Dessa bilder är tagna i fattiga Baravat och husen tillhör bönder. Stål är dock inte första valet för fattiga iranier men i Baravat och Bam är det myndigheterna som står för alla kostnader för stål och betong (endast för själva stommen och inte för resten av huset).



Fig. 112. Ett betonghus i Bam som delats upp för att uppnå symmetri i plan och elevation.



Fig. 113. Blocktegel, frigolit och betongblock är de nu dominerande materialen för golv och tak och används ibland även för väggar.



Fig. 114. Långa murar delas in i mindre partier.



Fig. 115. Väl fogade stålstommar. Iranska svetsare måste numera ha godkänd utbildning för att kunna arbeta. Bilderna ovan är tagna i Bam.

5.3.3 Lärdomarna från jordbävningen i Golbaf

Jordbävningen i Golbaf visar att enkla jordbävningssresistenta åtgärder räddar liv och till en kostnad som är rimlig även för vanligt folk. Jordbävningen 1981 i Golbaf (ligger på samma provins som Bam) förstörde i stort sett hela staden och antalet omkomna uppgick till 2000 människor. Byggnaderna i Golbaf var vid den tiden liksom byggnaderna i Bam av lera med antingen cylinderformade valvtak eller kupoltak. Efter jordbävningen så valde myndigheterna att genomföra ett experiment och återuppbygga staden med lågkostnadshus fast med vertikala och horisontella betongband till en kostnad som var rimliga för de boende. När staden 17 år senare drabbades av ytterligare en kraftig jordbävning omkom endast 5 personer; de omkomna bodde i de återstående husen från förra jordbävningen. Samtliga av de experimentella husen klarade sig utmärkt och undkom allvarliga skador. Experimentet bevisade att byggnader med jordbävningssresistenta system som horisontella och vertikala band kan minimera skadorna och till en kostnad som är rimlig även för fattiga människor. Man kan bevara den traditionella arkitekturen med kupoler och valvtak med alla deras klimatmässiga fördelar och ändå lyckas bygga jordbävningssresistenta lågkostnadshus. Experimentet visade även att det är myndigheterna som har det viktigaste och mest avgörande ansvaret. För övrigt har kostnaderna för cement, kalk, betong och stål sjunkit rejält sedan 1981 samtidigt som nya och effektivare metoder att bygga utvecklats i landet. Möjligheterna att bygga bra hus och samtidigt kostnadsmedvetet är betydligt större idag.



Fig. 116. En av de experimentella byggnaderna i Golbaf efter jordbävningen 1981. Husen är byggda med traditionella tak och med tegelstenar fast med armerade betongband.

5.3.4 Byggnader i andra delar av landet

5.3.4.1 Kerman

Kerman är huvudstaden i provinsen Kerman och denna stad påminner om Bam på många sätt. Gamla kvarteren består huvudsakligen av traditionella byggnader.



Fig. 117. Gamla kvarter i ökenstaden Kerman. Dessa hus kommer att kollapsa vid jordbävningar lika kraftiga som den som drabbade angränsande Bam. Det bort fortfarande många människor i dessa kvarter.



Fig. 118. Gamla kvarter i Kerman



Fig. 119. Gamla kvarter i Kerman

5.3.4.2 Ajabshir

Ajabshir är en mindre stad och som på många sätt liknar Bam men ligger på andra sidan landet. Ajabshir ligger i nordvästra Iran och den enda skillnaden mellan dessa två städer är att platta tak är vanligare i Ajabshir. Klimatet i nordvästra delarna av landet är mildare så det finns inget behov av kupol eller valvak. Byggmetoderna och byggtraditionerna liksom byggnadsmaterialen är dock likadana. Förändringarna som Iran har fått uppleva sedan jordbävningen i Bam har spridits även till denna stad och byggtraditionerna i Ajabshir har på endast ett par år förändrats från grunden. Det är stora förändringar och samtliga nya byggnader har antingen stålarmert betongstomme eller stålstomme. Befolkningen i Ajabshir vill ha säkra hus och att det kommer före allt annat, likaså så är de beredda att betala för detta. Men det finns fortfarande väldigt många hus i Ajabshir och omkringliggande byar som är byggda med endast lera eller obrända tegelstenar och dessutom upptäckte jag allvarliga brister hos vissa av husen. De omkringliggande byarna domineras av lerhus och utgör stor fara för de boende, för jordbävningar i Ajabshir regionen är minst lika vanliga som i Kerman regionen. Utvecklingen går dock i rätt riktningen med bättre byggda hus men Iran kämpar mot tiden.



Fig. 120. Elstolpar med den gamla designen är vanligare än de nya.



Fig. 121. Detta är ett tre våningshus i Ajabshir med flera allvarliga brister. Den första bilden visar en felaktig design av anslutningen mellan balk och pelare. Det kommer att uppstå farliga vridningsmoment i anslutningen och denna typ av problem fick många hus i Bam att kollapsa. Det andra problemet är att stålpelaren plötsligt tar slut på tredje våningen men ersätts istället av en träpelare med en väldigt dålig anslutning. Den allvarligaste bristen är dock egentligen att huset från början var tänkt att vara ett envåningshus men som byggts vidare på höjden (det är dyrt att köpa mark i Iran men många boende löser detta problem genom att bygga vidare på höjden på redan byggda hus). Stålpelaren börjar från den andra våningen och fortsätter till tredje våningen. Man har dessutom valt att bygga en terrass ovanpå allt detta. Detta hus kommer att kollapsa även vid medelmåttig jordbävning.



Fig. 122. Ett annat hus med en pelare som plötsligt tar slut och ersätts av en träpelare. Man har valt att bygga vidare på höjden.



Fig. 123. Ingen anslutning mellan murarna.



Fig. 124. Det är vanligt i Ajabshir att hus byggda före 1990 saknar vertikala och horisontella band.



Fig. 125. Utetoalett utan band. Toaletter på gårdar måste numera förses med band.



Fig. 126. Gamla delarna av Ajabshir där de flesta hus saknar horisontella och vertikala band.



Fig. 127. Trånga gränder kommer att försvåra räddningsarbetet vid eventuella katastrofer.



Fig. 128. Det är vanligt att bottenvåningen blir till en butik och ovanvåningarna till bostäder.



Fig. 129. Ett trevåningshus med galet system av diagonala stödbalkar.



Fig. 130. Betongpelare som tar slut mellan första och andra våningen men som sedan fortsätter från en annan position.



Fig. 131. Byggnader under konstruktion i Ajabshir. Här syns den nya designen av golv tillsammans med väl designade och konstruerade pelare och balkar. Dessa byggnader återspeglar förändringarna i den iranska byggindustrin.



Fig. 132. Fogningen av pelare och balkar sker uteslutande vid byggplatsen och gör det därför svårare att upptäcka eventuella fel.



Fig. 133. Bra anslutning mellan pelare och balk.



Fig. 134. Ny konstruktion men felaktig anslutning i de diagonala stödbalkarna eftersom centerlinjerna inte är symmetriska. Ett tecken på det behövs ordentliga inspektioner så att denna typ av misstag inte uppstår.



Fig. 135. Horisontella och vertikala band.



Fig. 136. Horisontella och vertikala band.

5.3.4.3 Anslutande byar till Ajabshir



Fig. 137. Liten by någon kilometer från Ajabshir. Inga nya byggnader syntes här. Husen i denna by var gamla och konstruerade med traditionella byggmetoder och med traditionella material.



Fig. 138. Ett par kilometer utanför Ajabshir. Onödig last på taket.



Fig. 139. En by utanför Ajabshir. Detta är en ny byggnad och med stålarmrad betongstomme.



Fig. 140. Absoluta majoriteten av husen i småbyarna anslutna till Ajabshir hade gamla och dåligt konstruerade hus. Men nyare hus har byggts med horisontella och vertikala band, ett tecken på att rädslan för jordbävningar har spridits även till små och fattiga byar.

5.3.4.4 Miljonstaden Tabriz

Tabriz är den största staden i nordvästra Iran med flera miljoner invånare och ledande i utvecklingen av byggtekniken i landet. Utvecklingen av lätta golv som frigolit börjades användas för första gången i Tabriz. Sedan flera år tillbaka så är det standard att bygga med stålarmert betong och med lätta golv till stor del på grund av jordbävningen i Bam. De andra storstäderna använder numera frigolit i större omfattning och kommer att för eller senare vara standard även i rurala regioner. Men det är stora kontraster i storstäderna med nya hus som byggs med betong och lätta golv medan stora delar av städerna fortfarande har gamla hus byggda före 1990.



Fig. 141. Det är numera standard att bygga golven och taken med lätta golv.



Fig. 142. Lätta golv.



Fig. 143. Felaktigt konstruerade horisontella armeringstänger med för korta krok och dessutom utan 135° krok.



Fig. 144. Horisontella och vertikala band på första våningen medan andra våningen saknar dessa band. Byggnaden är inte äldre än 20 år.



Fig. 145. Det finns fortfarande många gamla elstolpar.



Fig. 146. Stora delar av Tabriz har fortfarande gamla byggnader och som saknar jordbävningsresistent system.

5.3.4.5 Jordbävningssresistenta bostadshus i Peru

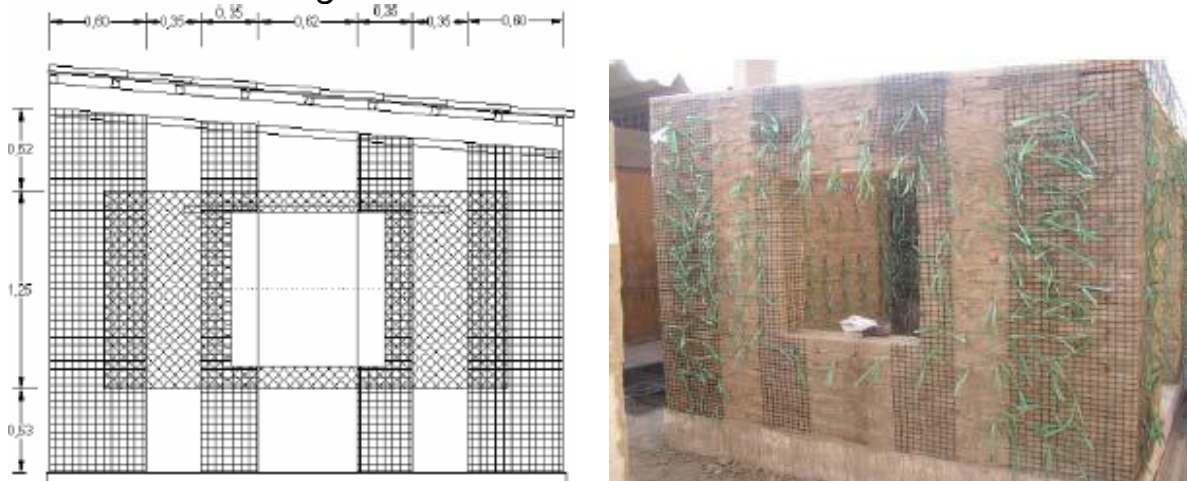


Fig. 147. Armering av små bostadshus med hönsnät. (Marcial Blondet and Gladys Villa Garcia M (2007), *Seismic Protection of Earthen Buildings*)



Fig. 148. Armering av plast och som täcker 75 procent av huset. Enligt tester så är det ett utmärkt alternativ till armering av småhus och dessutom ekonomiskt fördelaktigt för fattiga. (Marcial Blondet and Gladys Villa Garcia M (2007), *Seismic Protection of Earthen Buildings*).

6 Avslutande tankar

Iran är på grund av sitt geologiska läge ett särskilt utsatt land och har på endast 100 år drabbats av flera kraftiga och förödande jordbävningar som har resulterat i ungefär 140 000 omkomna, de allra flesta i onödan. Iranska folket och de iranska myndigheterna har i högsta grad blivit medvetna om jordbävningshotet och de risker som följer dåligt konstruerade byggnader eller felaktigt administrerade byggregler. Detta kan bevitnas runt om i landet genom att effekterna av denna medvetenhet övergått till konkreta förändringar i hela den iranska byggsektorn och det iranska samhället. Men insikten har inte reducerat hotet på något sätt eftersom att det än idag runt om i landet finns alldeles för många dåligt eller felaktigt byggda hus som i Bam. Jordbävningen i Bam visade hur verkligheten är och hur sårbart det iranska samhället är.

En del av problematiken ligger i att Iran än idag fortfarande har 50 procent av sin befolkning i rurala och i vissa fall i praktiken autonoma samhällen och i kombination med dålig kontroll av tillämpningen av byggreglerna från de lokala myndigheterna. Många byar eller små städer har inte utvecklats lika snabbt som i storstäderna, bybor vill bygga på traditionellt sätt och med metoder som de behärskar. Här finns mycket att göra och huvudansvaret ligger främst hos myndigheterna.

Iran blir mera urbaniserat med allt fler som flyttar in till städerna från rurala områden och landet har dessutom en kraftig befolkningstillväxt. Detta har skapat ett högt tryck på bostadsmarknaden som inte klarar av att bygga tillräckligt många bostäder, samtidigt som kostnaderna för nya bostäder och mark är för många alldeles för dyra. Det är därför vanligt att en familj bygger ut sitt hus i höjden med en extra våning för att antingen sälja det eller för att undvika att köpa ny mark när familjen blir större. Huvudstaden i Iran har idag en befolkning på nära 14 miljoner och stora delar av staden har byggnader som är byggda före 1990 och att dessa är byggda på samma sätt som i rurala regioner och med alla deras nackdelar. Det är heller inte ovanligt att stora områden är lika kaotiskt strukturerade som små städer där vägarna slingrar sig genom trånga och tätbefolkade områden. En liten bilolycka kan skapa kaos på stadsvägarna. Den kaotiska stadsplaneringen är likadan i alla storstäder. Skulle Tehran med sina 14 miljoner invånare drabbas av en kraftig jordbävning så är en enorm mänsklig katastrof ett faktum. Enligt geofysikerna så är det inte fråga om ifall Tehran kommer att drabbas av en jordbävning utan det frågan om när det kommer att ske. Det finns ungefär 100 förkastningar där staden ligger. Enligt den främsta iranska professorn inom geofysik Bahram Akasheh så kan uppemot 700 000 människor dödas om Tehran utsätts för en jordbävning som är lika kraftig som den som drabbade Bam. Han är en stark förespråkare för att flytta huvudstaden till Esfahan i centrala Iran för att undvika en mänsklig katastrof och det politiska kollaps det skulle medföra. *"It would be better to have the capital in somewhere near Isfahan: that would be safer. Other countries have changed their capital without any adverse effect."* Han har fått starkt politiskt stöd för det från Hassan Rohani som sitter i väktarrådet, den instans som i praktiken styr Iran och frågan diskuteras nu på allvar på högsta politiska nivå. Men jag har svårt för att se hur detta skulle kunna verkställas i praktiken, det skulle ta allt för lång tid för att genomföra flytten och byggandet i staden har inte på något sätt minskat utan tvärtom växer staden kraftigare än det gjort tidigare. Hotet från jordbävningar kommer att vara aktuellt många år framåt och kommer att vara ett starkt hot mot Irans stabilitet. Det går givetvis i rätt riktning med utvecklingen av billigare byggmaterial och effektivare byggmetoder men det finns fortfarande alldeles för många gamla hus i storstäderna och runt om i landet.

7 Litteratur och källor

- Arya, A.S
1993 *Improving Earthquake Resistance of Buildings – Guidelines*
- Arya, A.S
1987 *Protection of Educational Buildings Against Earthquakes.*
UNESCO Principal Regional Office for Asia and the Pacific.
- Blondet, Marcial and Gladys Villa Garcia M
2007 *Seismic Protection of Earthen Buildings.* Catholic University of
Peru, Department of Engineering
- Eshghi, Sassan and Medhi Zare
2004 *Bam (Iran) Earthquake of 26 December 2003, Mw 6.5: A
Preliminary Reconnaissance Report.* International Institute of
Earthquake Engineering and Seismology (IIEES)
- Kaikan, Kenchiku
1986 *Basic Concept of Seismic Codes” Volume I part 2.* International
Association for Earthquake Engineering (IAEE) Reprinted by
National Information Centre of Earthquake Engineering (NICEE)
2001
- Kuwata, Yasuko, Shiro Takada and Morteza Bastami
2005 *Building Damage and Human Casualties During the Bam-Iran
Earthquake.* Department of Architecture and Civil Engineering,
Kobe University
- Maheri, Mahmoud R.
2005 *Performance of Building Roofs in the 2003 Bam, Iran Earthquake.*
Shiraz University
- Maheri, Mahmoud R., Farzad Naeim and Michael Mehrain
2005 *Performance of Adobe Residential Buildings in the 2003 Bam,
Iran, Earthquake.* Earthquake Engineering Research Institute
(EEFIT)
- Manafpour, Ali Reza
2003 *The Bam, Iran Earthquake of 26 December 2003.* Earthquake
Engineering Field Investigation Team (EEFIT)
- Mortimer-Lloyd, J D
1983 *Earthquakes and Seismic Zones in the Middle East.* Department of
the Environment Building Research Establishment

Murty, C.V.R

2005 *Earthquake Tips – learning Earthquake Design and Construction*.
National Information Center of Earthquake Engineering (NICEE)

Peyret, M., J.Chéry and Y. Djamour

2007 “The source motion of 2003 Bam (Iran) earthquake constrained by
satellite and ground-based geodetic data”. *Geophysical Journal
International* 3: 849-866

Slak, T. and V. Kilar

2003 *Initial conceptual design of earthquake resistant r/c and masonry
buildings according to Eurocode 8*. University of Ljubljana,
Faculty of Architecture, Slovenia

2006

Designing for Earthquakes – A manual for Architects. FEMA,
U.S. Department of Homeland Security

Internet:

<http://www.bmtpc.org/pubs/guide.htm>

<http://earthquake.usgs.gov/regional/world/historical.php>

http://en.wikipedia.org/wiki/Earthquake_engineering

http://en.wikipedia.org/wiki/Plate_tectonics

World Urbanization Prospects: The 2007 Revision Population Database

<http://esa.un.org/unup/>

[http://www.monstersandcritics.com/news/asiapacific/news/article_1469211.ph
p/Taiwan_J](http://www.monstersandcritics.com/news/asiapacific/news/article_1469211.php/Taiwan_J)

http://news.bbc.co.uk/2/hi/middle_east/4346945.stm

<http://www.pdf-search-engine.com/earthquake-iran-pdf.html>

<http://www.politicalaffairs.net/article/view/2458/1/137/>

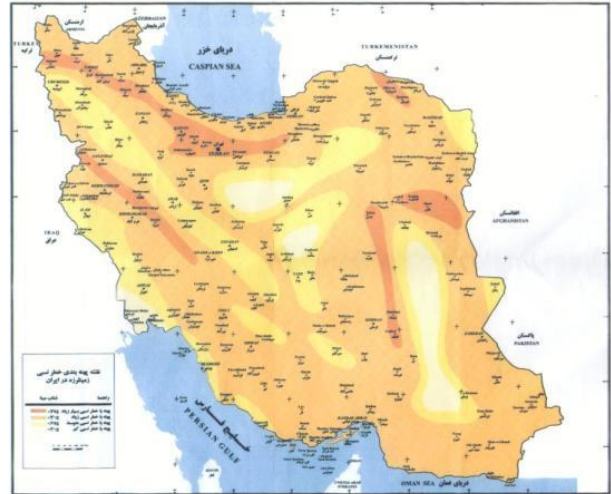
<http://www.politicalaffairs.net/article/view/2458/1/137/>

<http://www.world-housing.net/>

Appendix

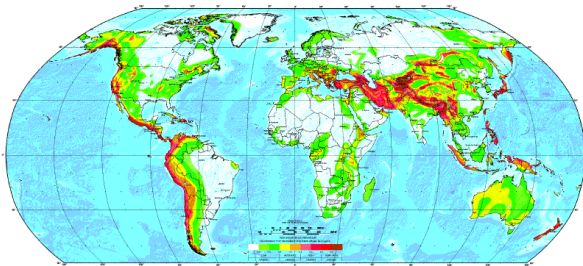


Iran.

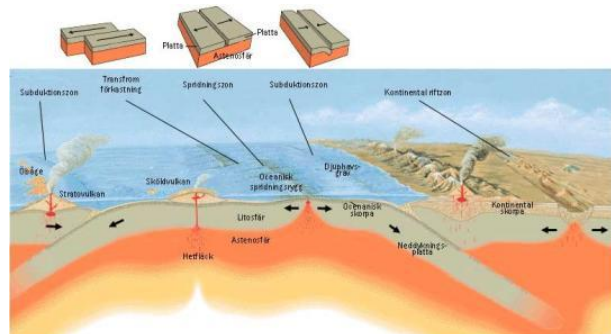


Riskzonerna.

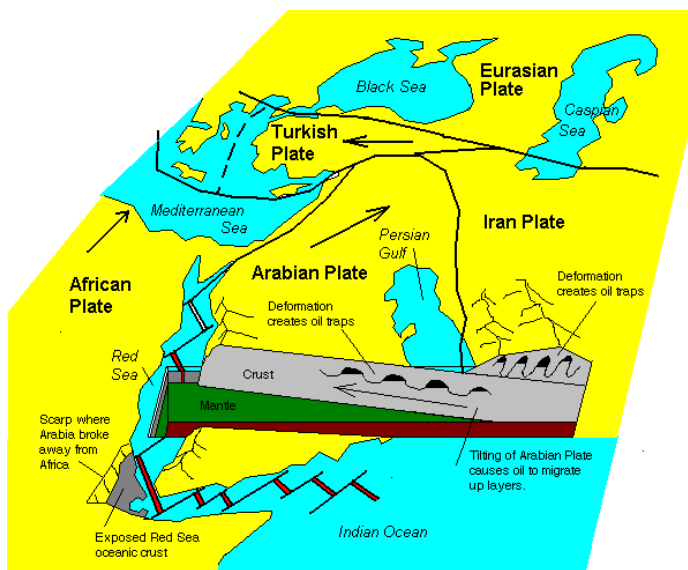
GLOBAL SEISMIC HAZARD MAP



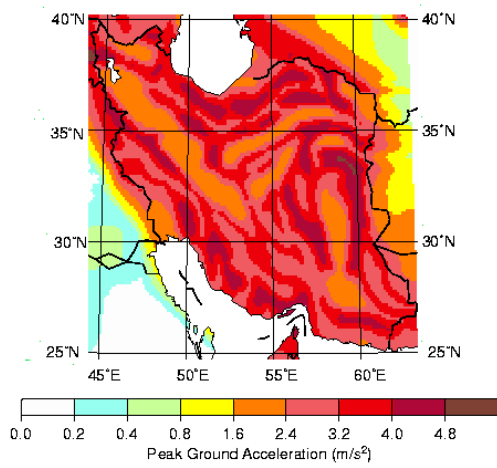
Jordbävningar i världen.



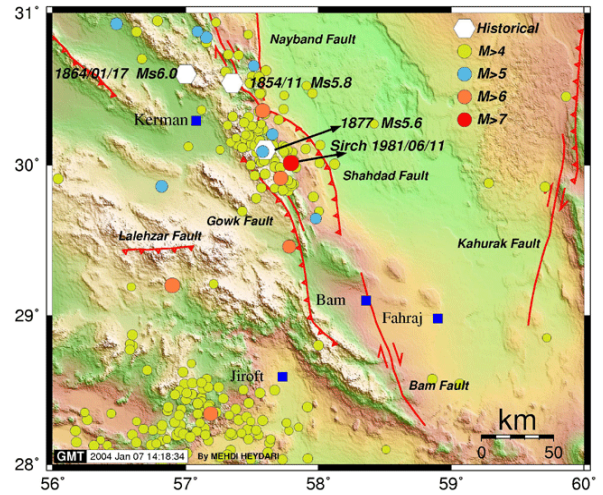
Plattors rörelser.



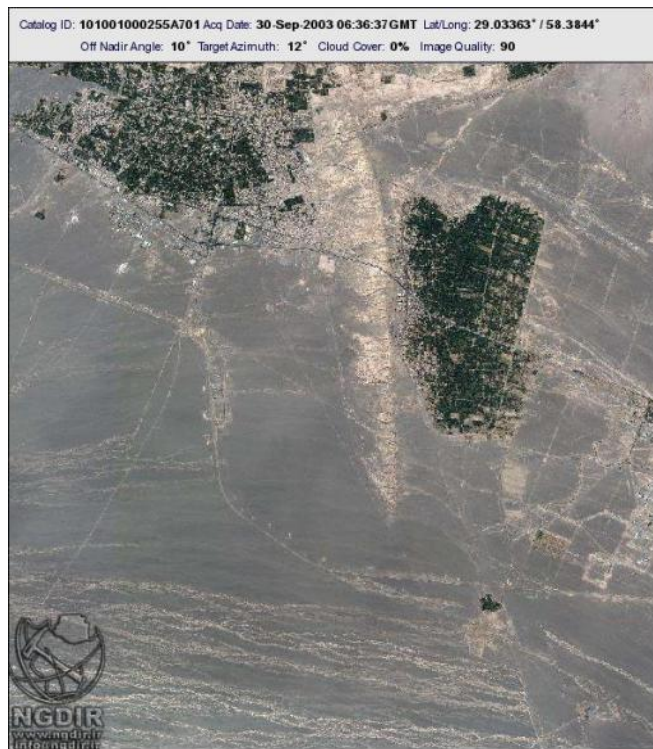
Arabiska plattans kollision med den iranska.



G kraften i marken.



Jordbävningar i Kerman provinsen.



Bam förkastningen syns mellan Bam och Baravat.

Modified Mercalli Intensity Scale

I	Not felt
II	Felt only by persons at rest
III–IV	Felt by persons indoors only
V–VI	Felt by all; some damage to plaster, chimneys
VII	People run outdoors, damage to poorly built structures
VIII	Well-built structures slightly damaged; poorly built structures suffer major damage
IX	Buildings shifted off foundations
X	Some well-built structures destroyed
XI	Few masonry structures remain standing; bridges destroyed
XII	Damage total; waves seen on ground; objects thrown into air

Mercalli Skalan.

Balkar

Balkar har både longitudinella och horisontella armeringsstänger. Horisontella stänger fungerar som bälten och binder ihop vertikala stänger och hindrar dessa från att bucklas ut vid kraftiga horisontella rörelser. För att armeringen ska ha någon effekt så får det inte finnas någon del av balken som saknar armering. Armeringen måste placeras regelbundet längs hela balken men vid hörn, anslutningar och vid ändrar ska stängerna sitta närmare varandra.

H = Balkens höjd

á = Avståndet mellan stängerna i känsliga delen av balken, nära hörn och anslutningar ($\leq 2H$)

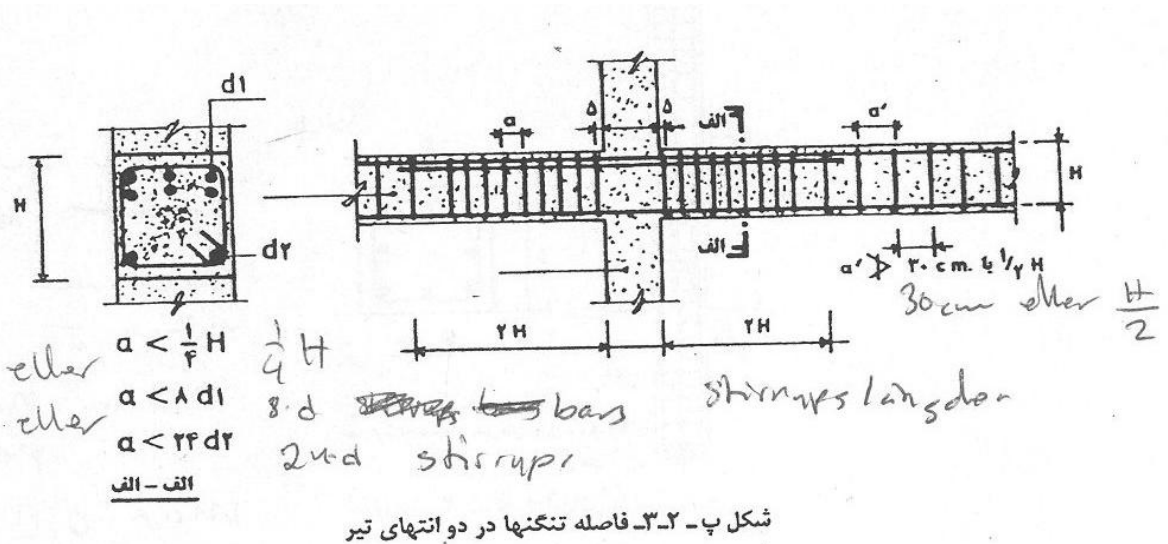
a = Avståndet mellan stängerna utanför känsliga delen ($> 2H$)

d_1 = Tjockleken på vertikala stänger

d_2 = Tjockleken på horisontella stänger

B = Tjockleken på pelare

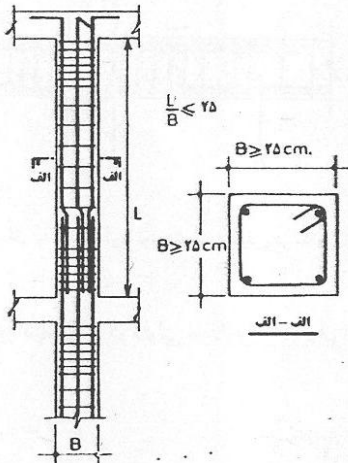
- Avståndet mellan horisontella stänger utanför känsliga delen (a) högst 30 centimeter eller $H/2$.
- Avståndet mellan horisontella stänger innanför det känsliga området (á): $1/4 H$, $8d_1$ eller $24d_2$.
- Armeringen av balken ska börja från 5 centimeters avstånd.
- Längden på 135° kroken ska vara $\geq 10d_2$.



Pelare

Pelare har precis som balkar två typer av armering det vill säga både longitudinella samt horisontella stänger. Horisontella stålstänger har samma funktion som i balkar och ska installeras på samma sätt men dock med andra mått.

- Totala arean av stålstänger i pelaren ska vara minst 0,01 av pelararean och högst 0,06 av pelararean.
- I båda ändarna av pelaren ska horisontella stänger vara närmare varandra och längden ska vara $1/6$ av pelarlängden eller 450 mm.
- Avståndet mellan horisontella stänger i känsliga området ska vara $8d_1$ eller $24d_2$ eller $B/2$.
- Avståndet mellan horisontella stänger utanför känsliga området ska vara $2a$ eller högst 30 centimeter
- Ovanför genomgående balkar så ska stålstängerna vara nära varandra precis som i pelarändarna. Avstånden mellan dessa får dock inte vara mer än $D/4$ där D är den minsta längden på pelare ytan men avståndet får inte vara mindre än 75 mm eller längre än 100 mm. Dessa stänger ska vara på båda sidor om en genomgående balk.
- I pelare som överstiger 300 mm ska ytterligare horisontella stänger införas för att förstärka betongen men dessa ska binda ihop 2 av de longitudinella stängerna och de ska ha en 180° krok.



شکل پ ۲-۴- محدودیت‌ها در تعیین ابعاد مقطع ستونها

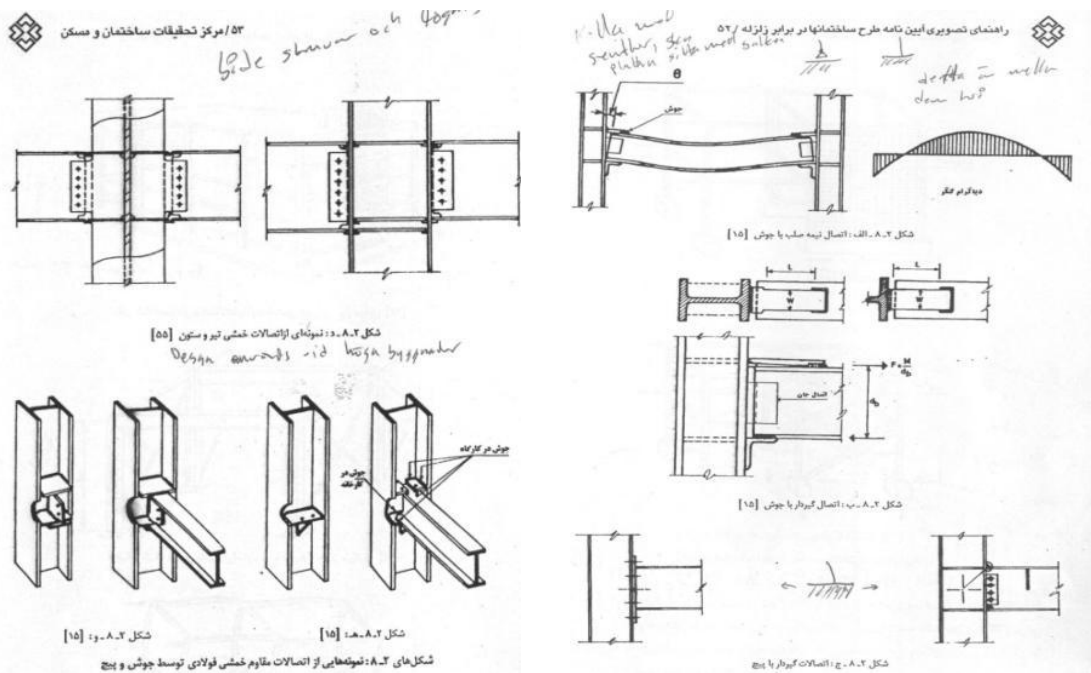
Genomgående balkar i en pelare.

Table 9.1 Number and diameter of mild steel bars in bands

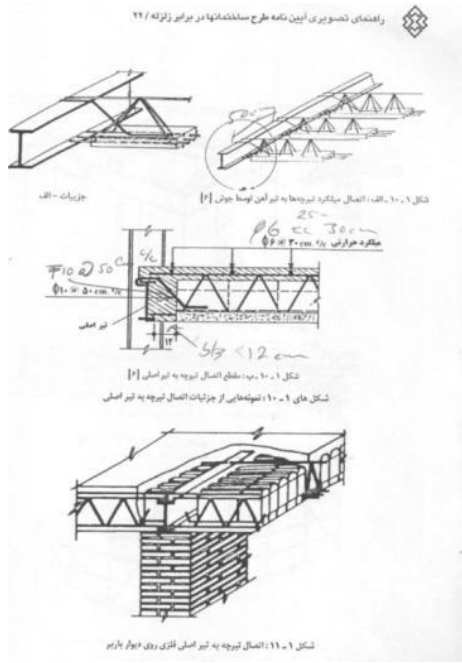
Span of wall between cross walls (m)	Category I			Category II			Category III			Category IV		
	No. of bars	Dia, mm		No. of bars	Dia, mm		No. of bars	Dia, mm		No. of bars	Dia, mm	
		M.S.	H.S.D.		M.S.	H.S.D.		M.S.	H.S.D.		M.S.	H.S.D.
5	2	12	10	2	10	8	2	10	8	2	8	8
6	2	16	12	2	12	10	2	10	8	2	10	8
7	2	16	12	2	16	12	2	12	10	2	10	8
8	4	12	10	2	16	12	2	16	12	2	12	10
9	4	16	12	4	12	10	2	16	12	2	12	10

- Notes:
1. Band to be of full width of wall.
 2. Thickness of band 7.5 cm minimum where two bars are used and 15 cm where four bars are used
 3. Longitudinal bars to be held by links/stirrups 6 mm dia @ 15 cm c/c as shown

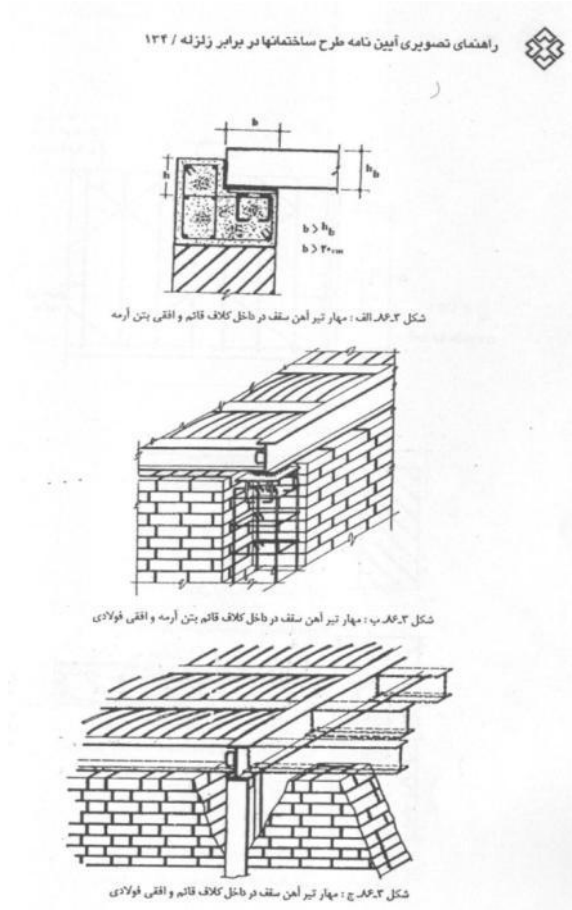
Antalet stänger i pelare samt diametern på dessa.



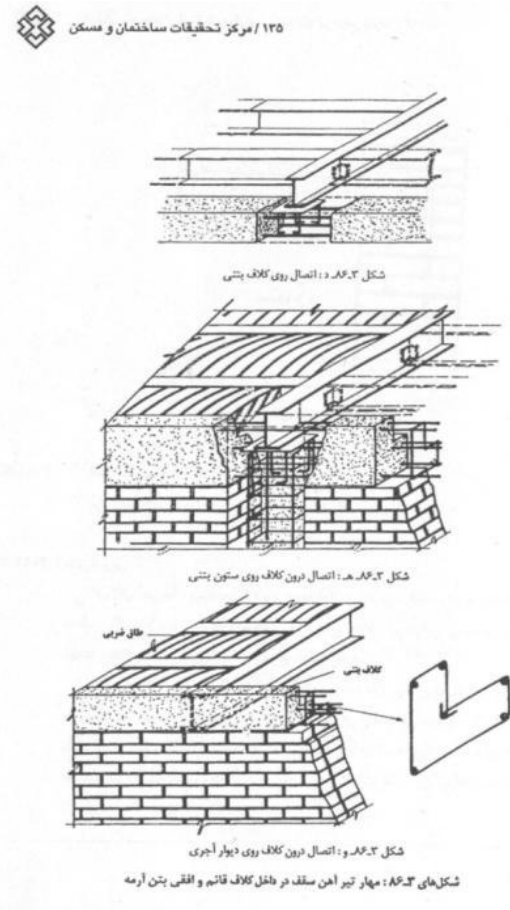
Korrekt anslutning av en pelare och balk.

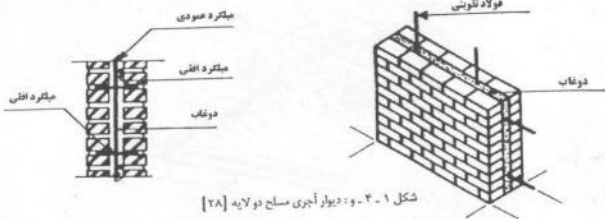


Armering av golv och tak.

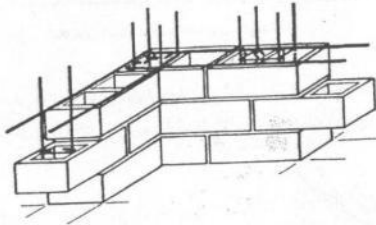


Armering av anslutningar och hörn.





شکل ۴-۱-۳: دیوار آجری مسلح دو لایه [۲۸]

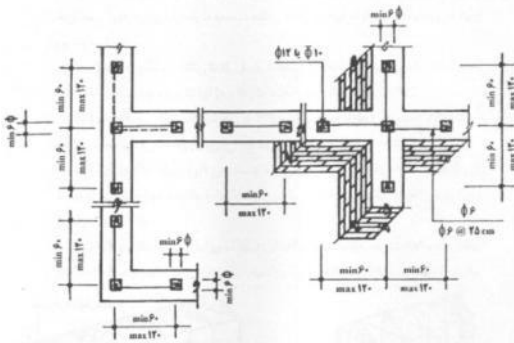


شکل ۴-۱-۴: دیوار بلوک سیمانی مسلح
شکل های ۴-۱-۳: مسلح نمونه دیوارهای آجری، بلوک سیمانی با استفاده از میلگردهای فولادی در برابر نیروهای کششی، فشاری و برشی

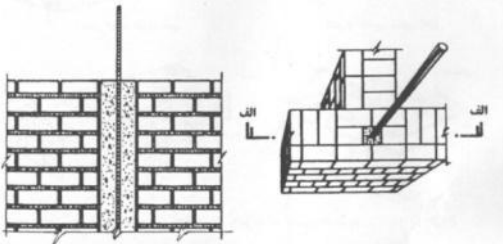
۴-۲-

بسیطوری کلی، باید از اجزای ساختمان در مجاورت گسلها پرهیز گردد و در موارد...

Armering av tegelväggar.



شکل ۵۱-۳: توزیع میلگردها در طول دیوار



شکل ۵۲-۳: به پرکردن کتل هرزه ملات در اطراف میله گردد

شکل ۵۳-۳: نحوه چین آجر در اطراف میلگرد

Armering av tegelväggar.

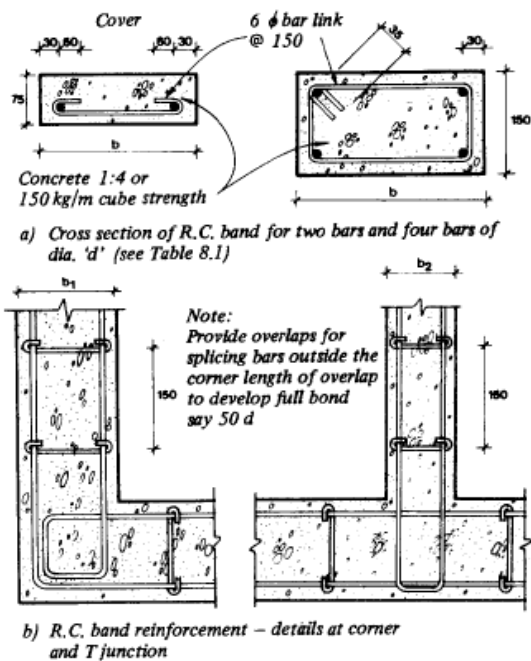


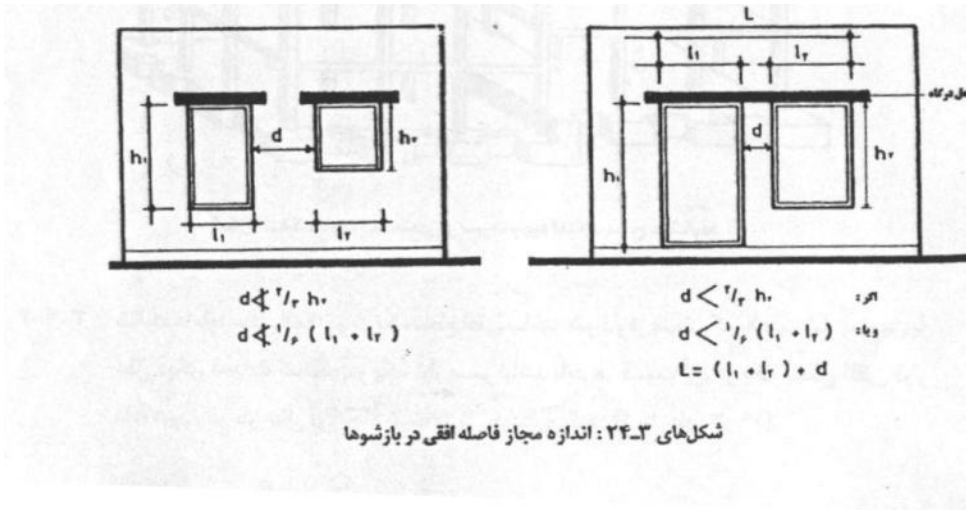
Figure 9.7 Reinforced concrete band details

Armering av horisontella och vertikala band.

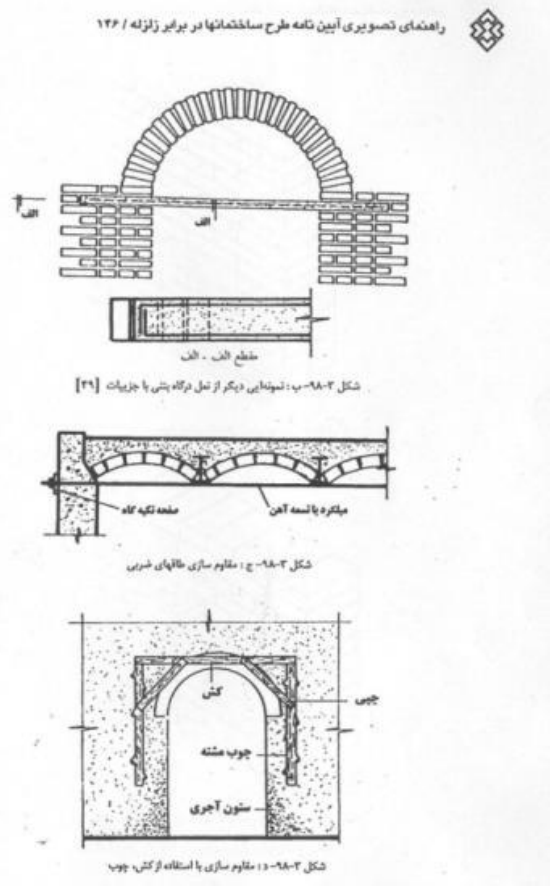
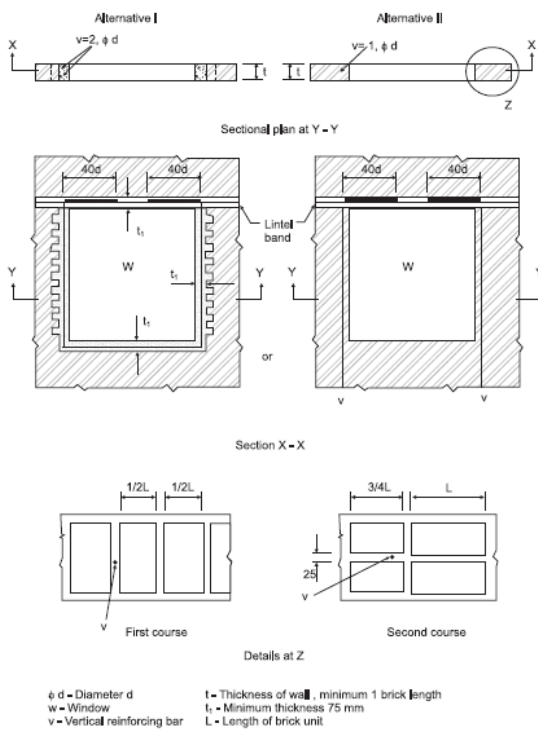
Väggdimensioner för tegelhus

Öppningar i bärande väggar:

- Bör vara centrala och små. Väggens motståndskraft mot jordbävningar reduceras med antalet öppningar samt storleken på dessa.
- Avståndet mellan fönstrets ytterkant och ett hörn ska vara 1/4 av öppningens höjd men minst 60 cm.
- Totala längden på öppningarna:
 - 1 vånings hus: $\leq 50\%$ av väggens längd
 - 2 vånings hus: $\leq 42\%$ av väggens längd
 - 3 vånings hus: $\leq 33\%$ av väggens längd
- Avståndet mellan två öppningar får inte vara mindre än halva höjden av öppningen eller minst 60 cm.
- Vertikala avståndet mellan två öppningar ska vara minst 60 cm men inte mindre än halva bredden av den mindre öppningen. Man ska välja den längd som är störst.



Vid öppningar där det av estetiska eller tekniska skäl inte går att följa dessa punkter så är det viktigt att man antingen bygger till en stålarmertad betongram runt öppningen eller installerar stålstänger runt en öppning. Detta gäller dock endast i de områden som är i kategori 1-3 i riskskalan. När det gäller hus av lera utan band och armering så får inte andelen öppna ytor överstiga en tredjedel av väggens yta. Avståndet mellan öppningar eller hörn får inte vara mindre än 1200 mm.



Armering av valv med enkla metoder.