

BELOK Totalprojekt

Energieffektivisering av befintliga lokalbyggnader

Ekonomisk bedömning

Enno Abel, Peter Filipsson, Tommy Sundström

Mars 2012

Innehåll

Bakgrund	3
Lokalbyggnader	4
Internränta	4
Kalkylränta	5
Framtida relativa ändringar av energipriset	6
Brukstidens inverkan	8
Åtgärds paket	9
Kriterium på lönsamhet	9
Åtgärds paket i internräntediagram	9
Reinvestering	11
Kalkylunderlag	14
Systemgränser	14
Energiberäkningar	15
Kostnads kalkyler	16
Tabell 1 Årskostnadsfaktor $P(r,n)$	17
Tabell 2 Nuvärdesfaktor $I(r,n)$	18
Tabell 3 Nuvärdesfaktor enstaka utfall $i(r,n)$	19

Bakgrund

I lokalsektorn råder normalt ett rätt tydligt marknadsmässigt förhållande mellan å ena sidan fastighetsägare eller förvaltare och å andra sidan hyresgäst eller brukare. Då det gäller kontor, är det i grunden hyresgästens marknad. I såväl storstadsområden som på mindre orter, kan ett företag oftast finna ett annat bra alternativ då hyrestiden går ut. Då det gäller lokaler av mer specialiserad karaktär är hyresgästen eller brukaren ofta mer bunden då det dels kan krävas en för verksamheten anpassad utformning, dels kan vara fråga om hyreskontrakt som löper längre. I grunden gäller dock även här att hyresgästen eller brukaren på sikt kan söka alternativa lösningar. Det är viktigt att fastigheten sköts, underhålls och förnyas fortlöpande så att man inte förlorar hyresgäster och att, när så är aktuellt, lokalerna är attraktiva för nya hyresgäster.

Ett framsynt fastighetsföretag måste därför arbeta för att lokalerna bibehåller, och helst ökar, sin attraktivitet. En allt viktigare del i detta är minskning av byggnadens energibehov samtidigt som dess funktion bibehålls eller förbättras. Det är oundvikligt att energipriserna kommer att öka framdeles och att en minskning av energibehovet blir en allt viktigare förutsättning för att hålla driftkostnader på en konkurrenskraftig nivå. Vidare är det hög sannolikhet för att samhällsliga krav på hög energieffektivitet, kommer att skärpas alltmer, även för befintliga byggnader. Här kan fastighetsägare som inte genomför möjliga energieffektiviserande åtgärder de närmaste åren, bli tvungna att i framtiden ta till kostsamma ad hoc åtgärder, som hade kunnat klaras tidigare på ett mer lönsamt sätt.

I många fall krävs det så mycket som en halvering av värme- och elbehov. Det förutsätter oftast en rätt stor investering, som det knappast är realistiskt att förvänta nämnvärt samhällsligt stöd till. Det åtgärder som är nödvändiga måste således i allt väsentligt finansieras av fastighetsägaren. Förutsättningen är då i praktiken

1. att den för åtgärderna erforderliga investeringen är lönsam, dvs klarar fastighetsägarens eller fastighetsföretagets villkor för långsiktiga investeringar;
2. att de uppgifter om erforderliga investeringar och framtida årliga besparingar som ligger till grund för ett investeringsbeslut, är verkligen att lita på.

I det följande beskrivs en enkelt gripbar ekonomisk modell för lönsamhetsbedömningar i samband med energieffektivisering av befintliga byggnader. Med ett exempel visas också hur den tillämpas i Beställargruppens för lokaler, BELOK:s, energieffektiviseringsprojekt.

BELOK:s verksamhet är främst inriktad på lokalbyggnader, dvs på sådana som inte är bostadshus eller renodlade industribyggnader. Metodiken som sådan är dock givetvis tillämpbar på alla slag av byggnader.

Kortfattat beskrivs också ett angreppssätt, som visat sig ge ett tillförlitligt beslutsunderlag.

Lokalbyggnader

Lokalbyggnaderna i Sverige omfattar ca 150 miljoner m² golvarea.

Arean ökar med 1 à 2 miljoner m² per år, dvs med ca 1% av beståndet

Lokalfastigheter använder årligen drygt 20 TWh värmeenergi och drygt 20 TWh elektrisk energi. Det finns ett uttalat mål satt av EU och svenska regeringar att energianvändningen i bland annat byggnadsbeståndet skall i stort halveras till 2050.

Det är viktigt att nya hus utformas så att deras energibehov blir lågt. Det innebär dock endast att energibehovets ökningstakt minskar, inte att energibehovet totalt sett minskar.

För att ens komma i närheten av det nämnda målet – halvering av byggnadsbeståndets energianvändning - är det därför helt nödvändigt att energianvändningen i en stor del av de hus som redan finns sänks drastiskt

När man vidtar energiåtgärder i befintliga byggnader är det viktigt att detta sker så att

1. att byggnadens kvalitet och användbarhet bibehålls eller förbättras;
2. att man får största möjliga besparingseffekt av de resurser som satsas

I stort sett alla befintliga lokalbyggnader kan man med litet ansträngning identifiera rätt många åtgärder som en kan minska energibehovet. Varje åtgärd i sig ger en viss större eller mindre energibesparing till en viss större eller mindre kostnad. Om man väljer ut och efterhand genomför endast ur energisynpunkt lönsammaste åtgärder, blir det oftast fråga om, visserligen lönsamma, men ur energisynpunkt rätt begränsade åtgärder. Om man i stället bildar och genomför ett paket av åtgärder, som tillsammans uppfyller fastighetsägarens krav på investeringars lönsamhetskrav, kan minskningen av energibehovet bli betydande. I det följande behandlas en metodik för urval av åtgärder och bildandet av åtgärdspaket

Internränta

Om man investerar ett belopp B_0 kr som skall återbetalas under de följande n åren, kan årskostnaden för detta, b kr/år, beräknas ur det grundläggande sambandet.

$$b = \left(\frac{r/100}{1 - (1 + r/100)^{-n}} \right) \cdot B_0 = P(r, n) \cdot B_0 \quad (1)$$

där $P(r, n)$ är *annuitetsfaktorn* vid räntan r och brukstiden n . Dess invers är *nuvärdesfaktorn* $I(r, n)$, som anger nuvärdet A_0 av ett årligen utfallande belopp a .

$$A_0 = \frac{1 - (1 + r/100)^{-n}}{r/100} \cdot a = I(r, n) \cdot a = \frac{1}{P(r, n)} \cdot a \quad (2)$$

Annuitetsfaktorn $P(r, n)$ och dess invers nuvärdesfaktorn $I(r, n)$ finns tabellerade i bilagan. De finns också i en mängd ekonomiböcker och är inlagda i de flesta ekonomiska beräkningsprogram.

Ett sätt att bedöma lönsamheten av investeringskrävande åtgärder är att utgå från den faktiska avkastningen, räknad i räntemått, som en investering ger.

Om en investering B_o kr ger en årlig driftkostnadsminskning a kr/år, innebär detta en faktisk ränta, en internränta r_i , som är ett mått på investeringens avkastning. Denna internränta r_i fås ur:

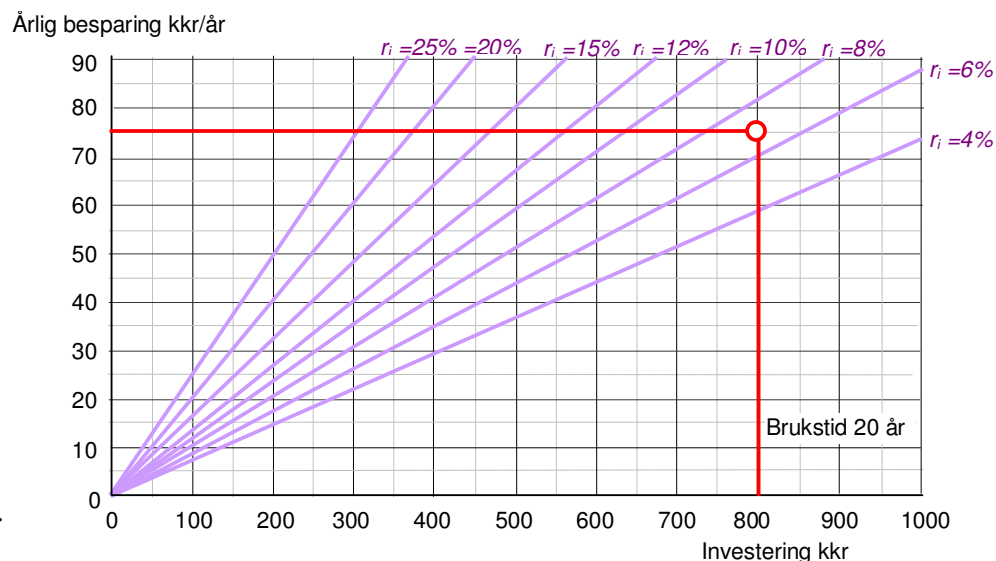
$$a = P(r_i, n) B_o \quad (3)$$

I ett diagram med axlarna investering A_o kr och minskad årskostnad b kr/år är

$$\frac{a}{B_o} = P(r_i, n) = \operatorname{tg} v_i \quad (4)$$

där v_i är lutningsvinkeln för en linje från origo.

I ett sådant diagram kan man således för en viss brukstid lägga in linjer med de lutningar som gäller för olika räntevärden. Om man i diagrammet prickar in den investering en viss åtgärd kräver och den besparing som fås, kan man direkt avläsa den internränta åtgärden ger. I det följande benämns diagrammet *internräntediagram*.



Figur 1 Internräntediagram
 Exempel: En investering på 800 kkr i energibesparande åtgärder bedöms minska energikostnaden med 75 kkr/år. Detta ger internräntan ca 7%.

Kalkylränta

Ett sätt att uttrycka ett företags ekonomiska krav på långsiktiga investeringar är att bestämma storleken av den ränta, den kalkylränta, som skall användas vid bedömning av lönsamheten. Detta kan kombineras med kompletterande styrande villkor, men valet av kalkylränta är det kanske mest grundläggande styrmedlet för att säkerställa den med hänsyn till företagets förutsättningar nödvändiga investeringsdisciplinen. Man kan då antingen välja en nominell kalkylränta, dvs en ränta som inte tar hänsyn till

inflationen, eller en real kalkylränta, dvs en ränta som är rensad från den genomsnittliga inflationen.

Om man utgår från den nominella kalkylräntan, måste hänsyn tas till inflationen vid en bedömning av investeringens lönsamhet. Emellertid kan inflationen ses som en ändring av en skalfaktor och man slipper ha med den om man i stället använder en ränta som är rensad från den. Den från inflationen rensade räntan, realräntan, är approximativt den verkliga räntan minskad med den procentuella årliga ändringen av den genomsnittliga kostnadsnivån. I det följande är det konsekvent real kalkylränta som används.

Framtida relativa ändringar av energipriset

Det som sagts ovan gäller endast om alla priser följer i stort inflationen. Om någon del av det utfall investeringen ger inte följer den allmänna inflationen, måste man ta hänsyn till detta. Det är rimligt att anta att just energipriserna framdeles kommer att stiga mer än den genomsnittliga inflationen, vilket bör beaktas då man bedömer kostnadseffektiviteten av energirelaterade åtgärder. Så sker också för det mesta.

En ekonomisk modell för värdering och sammanställning av energisparande åtgärder bör vara enkel och lättöverskådlig. Då man värderar energisparåtgärder i en befintlig byggnad finns alltid en osäkerhet i bedömningen av vad en enskild åtgärd kommer att kosta och vad den kommer att ge i energi. Det syns därför försvarbart att acceptera några matematiska approximationer i den ekonomiska hanteringen, om de bidrar påtagligt till enkelheten. En sådan är lämplig då man skall ta hänsyn till energins framtida relativa prisändring.

Om man antar att den årliga energiprisökningen blir q % utöver den genomsnittliga prisändringen, gäller:

$$a = \left(\frac{\frac{1+r/100}{1+q/100} - 1}{1 - \left(\frac{1+r/100}{1+q/100}\right)^{-n}} \right) \cdot A_o = P(r, q, n) \cdot A_o \quad (5)$$

eller

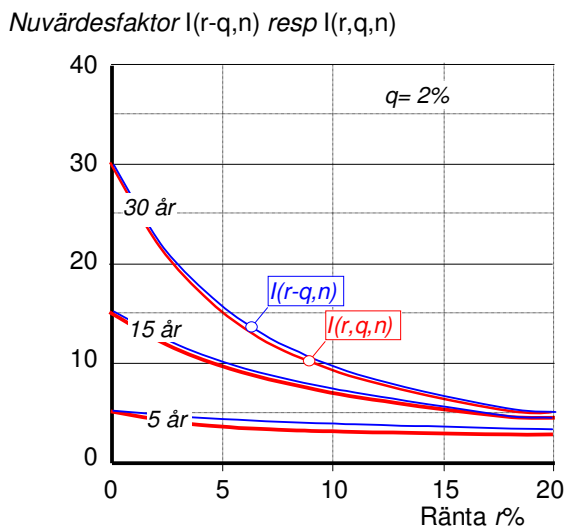
$$\frac{a}{A_o} = P(r, q, n) \quad (6)$$

där $P(r, q, n)$ är en annuitetsfaktor, som inkluderar även en relativ prisändring. Annuitetsfaktorn $P(r, q, n)$ finns inte tabellerad i vanliga ekonomiskrifter eller finns i enkelt åtkomliga. Den kan dock fås enkelt genom att approximativt sätta

$$P(r, q, n) \approx P(r - q, n) \quad (7)$$

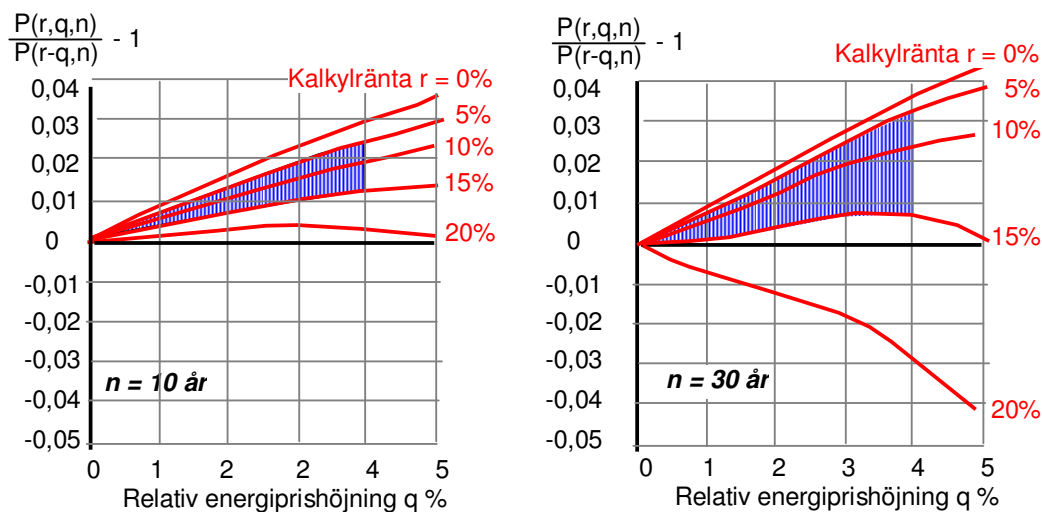
Figur 2 ger en bild av approximationens nära överensstämmelse med grundsambandet. Här visas detta med nuvärdesfaktorn I som är annuitetsfaktorns P invers.

$$I(r, q, n) \approx I(r - q, n) \quad (8)$$



Figur 2. Approximeringen $I(r-q,n)$ och det matematiska värdet $I(r,q,n)$

Mer exakt visas avvikelsen i figur 3 nedan.



Figur 2 Felet i approximationen $P(r,q,n) \approx P(r-q,n)$

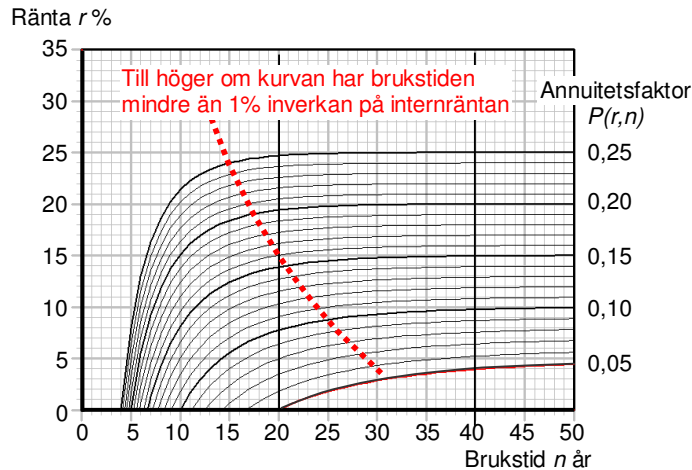
De streckade ytorna anger de områden där energisparande åtgärder brukar ligga.

Som figuren visar, är felet mindre än 3% av annuitetsfaktorn $P(r,q,n)$, för de värden på ränta r och relativ energiprisändring q som kan vara aktuella för energiåtgärder i lokalbyggnader.

Överfört till det i fig 1 visade internräntediagrammet, innebär det mindre än 0,2% procentenhet fel i räntan representerad av linjerna från origo.

Brukstidens inverkan

Olika åtgärder för energihushållning kan ha kortare eller längre livslängd, beroende på vad det är för åtgärd. Livslängden anger hur många år åtgärden fungerar rent tekniskt. Brukstiden väljs normalt kortare än livslängden, genom att det kommer fram ny teknik, det kommer förändringar på grund av byten av hyresgäster mm, som leder till att speciellt installationer kan komma att bytas innan de är uttjänta. I det följande används begreppet brukstid enbart. Figur 3 belyser brukstidens inverkan på internräntan.



Figur 3. Internräntans beroende av brukstiden.

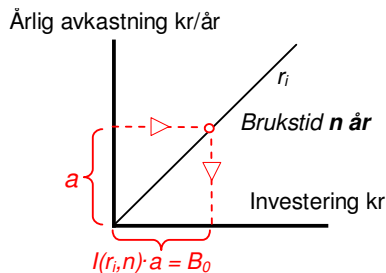
Om kombinationen brukstid-ränta ligger till höger om den prickade röda kurvan för alla åtgärder med olika brukstid, innebär skillnader i brukstid liten, mindre än en procentenhet, inverkan på internräntan. Ligger denna kombination till vänster om kurvan för åtgärder med kort brukstid, måste skillnaden i brukstid beaktas.

Energiåtgärder i lokalbyggnader har ofta två brukstider, en för tekniska fastighetsinstallationer och en för bygnadsdelar. För tekniska installationer väljs ofta en tid mellan 15 och 20 år. Internräntan ligger sällan över 10-15%. Det innebär att man måste i den ekonomiska analysen normalt ha med inverkan av skilda brukstider

Den gemensamma internräntan r_i för två samtidigt investeringar B_{01} kr med brukstiden n_1 år och B_{02} kr med brukstiden n_2 år, med avkastningarna a_1 kr/år respektive a_2 kr/år, bestäms av att summan av avkastningarnas nuvärden skall täcka hela investeringen.

$$B_{01} + B_{02} = I(r_i, n_1) \cdot a_1 + I(r_i, n_2) \cdot a_2$$

Där $I(r_i, n_1)$ och $I(r_i, n_2)$ är nuvärdesfaktorer för de årliga avkastningarna a_1 och a_2 .



Internräntediagrammet är i grunden ett sätt att ange sambandet mellan investering och dess årliga avkastning, eller omvänt, mellan årlig avkastning och dennas nuvärde. För internräntan r_i gäller att $I(r_i, n) a = B_0$. Diagrammet till vänster gäller för en viss brukstid. Vid en given investering med en given avkastning stiger internräntan med brukstiden.

Åtgärds paket

Beslutsunderlaget för lönsamhetsbaserade långsiktiga investeringar bör normalt utgå från en kalkyl enligt en kapitalvärdesmetod, dvs nuvärdesmetod, årskostnadsmetod eller internräntemetod. Samtliga dessa innebär att investeringen vägs mot framtida intäkter eller kostnadsminskningar. Oberoende av vilken av metoderna som tillämpas fås samma resultat, förutsatt att alla utgångsdata är desamma och kalkylen genomförs på ett korrekt sätt. BELOK:s Totalprojekt baseras på internräntemetoden. Därför ligger fokus i det följande på denna och på hur internräntediagram kan användas för redovisning av energianalyser.

Totalprojektmodellen innebär kortfattat följande:

- I den byggnad som skall energieffektiviseras görs en grundlig inventering av tänkbara energisparande åtgärder av vilka det bildas ett *åtgärds paket* som i sin helhet uppfyller fastighetsägarens lönsamhetskrav.
- Hela åtgärds paketet genomförs i den aktuella byggnaden
- Som erfarenhetsåterföring jämförs energianvändningen efter ett år med energiuppgifter före åtgärds paketet.

Kriterium på lönsamhet

Kalkylräntan utgör grunden för bedömningen av en investering. Den bestäms av den som skall stå för investeringen utgående från investeringens risk, investerarens ekonomiska situation och långsiktiga ägarperspektiv, möjliga investeringsalternativ etc. Kalkylräntan är därmed normalt högre än exempelvis den ränta som får betalas för eventuella lån. Den utgör ett mått på vad som krävs för att genomföra en investering. Vid tillämpning av internräntemetoden är lönsamhetskriteriet att internräntan är högre än den fastställda kalkylräntan. Om kalkylräntan väljs korrekt, är kriteriet på en investerings lönsamhet att den internräntan investeringen ger är högre än den kalkylränta som gäller för fastighetsföretaget.

När det gäller energibesparande åtgärder kan man som nämnts förvänta sig en större framtida prisökning än den genomsnittliga inflationen. Detta kan man, i konsekvens med sambanden 87) och (8) ta hänsyn till genom att korrigera kalkylräntan för detta enligt samband (9). Kalkylräntan r ersätts således med en korrigerad kalkylränta r_{korr}

$$r_{korr} \approx r - q \quad (9)$$

Åtgärds paket i internräntediagram

När man har identifierat ett antal energisparande åtgärder och beräknat deras kostnad och energibesparing, kan man lägga in alla som punkter i ett internräntediagrammet. Från varje sådan punkt kan man sedan lägga in en linje till origo, där linjens lutning således representerar internränta. Genom att ordna alla dessa linjer efter minskande lutning får man ett underlag för att bilda åtgärds paketet, dvs ett paket som innehåller de energieffektivaste åtgärderna. Kriteriet för hur många åtgärder som tas med är att internräntan för paketet i dess helhet skall överstiga den fastställda kalkylräntan.

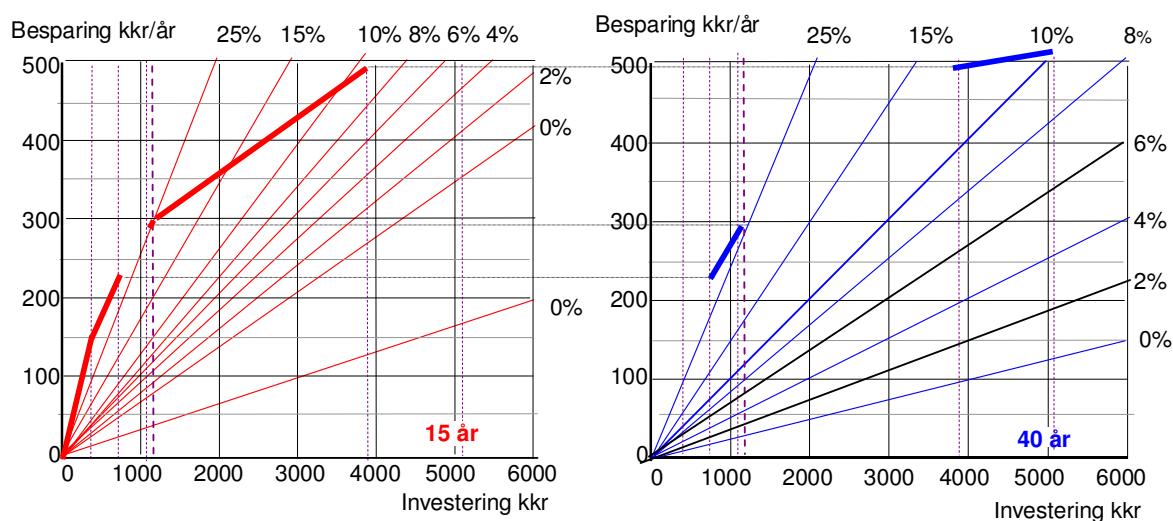
Metodiken illustrera i det följande med ett praktiskt exempel. Det är en kontorsbyggnad om 8.500 m²_{BTA}, där Totalprojektet genomförts i dess helhet, dvs man har bildat ett åtgärds paket, genomfört det i byggnaden och därefter följt upp energianvändningen under ett år. De i exemplet nedan visade värdena är beräknade energibesparingar och kostnader, som låg till grund för åtgärds paketet i det aktuella fallet. Dessa har använts på grund av att det är de som gäller i praktiken då man bildar åtgärds paket och fattar beslut om att genomföra totalprojekt. I verkligheten visade det sig att kostnaderna blev lägre medan energibesparingen blev i stort som den beräknade.¹

I tabellen nedan är i den aktuella byggnaden identifierade energisparåtgärder, deras brukstid, deras beräknade kostnad och den förväntade besparingen sammanställda. Åtgärderna är redovisade i koncentrerad form. En del av dem består egentligen av flera olika delar.

Tabell 1
Exempel på energisparåtgärder

Nr	Åtgärd	Brukstid [år]	Investering [kkr]	Besparing [kkr/år]	Intern ränta [%]
1	Ny fastighetsbelysning	15	350	140	39,7
2	Reducerad baslast värme	15	350	73	19,4
3	Förbättrad takisolering	40	400	60	14,9
4	Införande av nattkyla sommartid	15	75	10	9,8
5	Nytt ventilationssystem	15	2700	207	1,80
6	Nya fönster	40	1200	26	-1
Summa			5.075	516	

Åtgärderna i tabellen har 15 eller 40 års brukstid. I figur 4 visas de inlagda i internräntediagram för 15 år respektive 40 år.

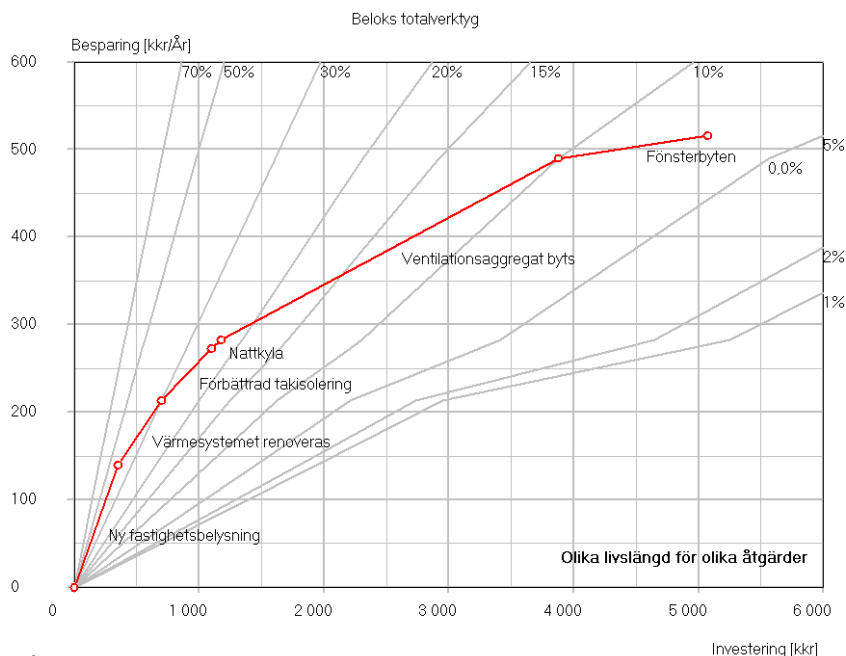


Figur 4 Energisparåtgärder i internräntediagram för respektive brukstid.

¹ www.BELOK.se. Rapporter/Totalprojekt/Slutrapport/Getholmen

Det går inte att ur diagrammen i figur 4 utläsa den ”gemensamma” lönsamheten för hela paketet. Man kan dock kombinera diagrammen så att internräntelinjernas lutning anpassas till varje åtgärds brukstid. Det är rätt arbetskrävande att göra detta manuellt, men sker enkelt med hjälp ett beräkningsprogram, *BELOK Totalverktyg*, som är fritt tillgängligt på www.belok.se där det finns under ”Verktyg”.

I Figur 5 visas åtgärds paketet beräknat med Totalverktyget.



Figur 5. Åtgärds paketet i tabell 1 i internräntediagrammet.

Fastighetsägaren har krävt att investeringen skall ge en besparing som innebär minst 7 procent real, dvs inflationsrensad, ränta. Samtidigt har han antagit att energipriserna stiger årligen med 2 procent utöver den allmänna inflationen. Detta innebär att internräntan skall vara minst $7-2 = 5\%$ för hela paketet. Som syns i Figur 5 är den ca 7%. Om ytterligare identifierade åtgärder hade tagits med, hade hela paketets internränta hamnat under 5%.

Reinvestering

När delar i byggnaden har olika brukstider kan det innebära att energisparande åtgärder med kortare brukstid än husets i dess helhet, blir ersatta när de inte längre fyller sin uppgift. Utgår man exempelvis från att de tekniska installationerna har brukstiden 15 år, medan byggnaden som sådan skall fungera i 40 år, måste installationerna ersättas efter 15 respektive efter 30 år. Det krävs en reinvestering efter 15 år och en efter 30 år.

Nuvärdet i dag, B_{or} , av en reinvestering B_{nr} , som sker om n år, är

$$B_{or} = B_n \cdot \frac{1}{\left(1 + \frac{r}{100}\right)^n} = B_{nr} \cdot i(r, n) \quad (10)$$

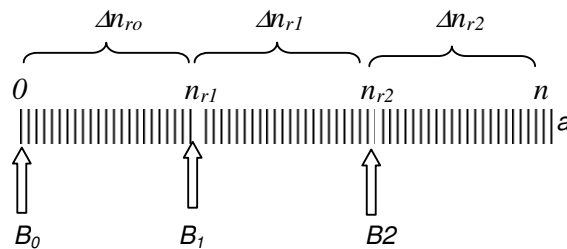
Nuvärdesfaktor för en enstaka framtida händelse, $i(r, n)$, finns tabellerad i bilagan.

Man tar hänsyn till de framtida reinvesteringarna genom att addera nuvärdet av reinvesteringarna till den inledande investeringen och sedan bestämma internräntan utgående från reinvesteringarnas sammanlagda brukstid.

Med två reinvesteringar B_1 och B_2 efter n_{r1} respektive n_{r2} år, blir nuvärdet ΣB_o av hela investeringsprocessen:

$$\Sigma B_o = B_o + B_1 \cdot i(r, n_{r1}) + B_2 \cdot i(r, n_{r2})$$

Två reinvesteringar innebär att hela den ekonomiska processen löper under den ursprungliga investeringen och reinvesteringarnas sammanlagda brukstider. Denna sammanlagda brukstid är $\Delta n_o + \Delta n_{r1} + \Delta n_{r2}$



Ett som det syns rätt rimligt antagande är återinvesteringarna blir i realvärde lika stora som den första investeringen, att de kommer att ge samma årliga avkastning och att de kommer att ha samma brukstid. I realvärden innebär det att:

$$B_o = B_1 = B_2 \quad \text{och} \quad \Delta n_{r0} = \Delta n_{r1} = \Delta n_{r2} = \Delta n \quad \text{samt att } a \text{ är konstant}$$

Med det här antagandet kommer varje reinvestering att ge samma interränta (samma investering, samma brukstid, samma årlig avkastning). Detta innebär att med de här antagandena ändras inte internräntan genom reinvesteringarna. Däremot blir den ekonomiska processen i des helhet annorlunda. Hela brukstiden bli $3 \cdot \Delta n$ och nuvärdet av investeringarna blir

$$\Sigma B_o = B_o \cdot (1 + i(r, n_{r1}) + i(r, n_{r2})) \quad (11)$$

Frågan om reinvesteringar är av intresse först då det är fråga om samtidiga investeringar i åtgärder med olika livslängder, som då man utformar ett åtgärds paket för energibesparing. För att belysa detta använts det i Tabell 1 visade exemplet men med åtgärderna indelade i två grupper efter brukstid.

I paketet ingår således åtgärder med dels 15 års brukstid dels 40 års brukstid. De med kort livstid bedömer man måste ersättas efter 15 respektive 30 år. Man kan då bilda två åtgärds paket:

- ett för åtgärds paket med 15 års brukstid och ersättning efter 15 och 30 år
- ett för åtgärds paket med 40 års brukstid

Åtgärds paketet med 15 års brukstid har internräntan 9%. Detta fås enkelt med hjälp av *BELOK Totalverktyg* eller bilagans tabeller. Internräntan 9% används här för nuvärdesberäkningen av reinvesteringarna. Det är den interränta som gäller om samtliga 15 års åtgärder ersätts efter 15 år till samma reella kostnad. Det syns vara ett rimligt antagande. Om man antar något annat, får man passa sig fram genom att pröva med olika räntor.

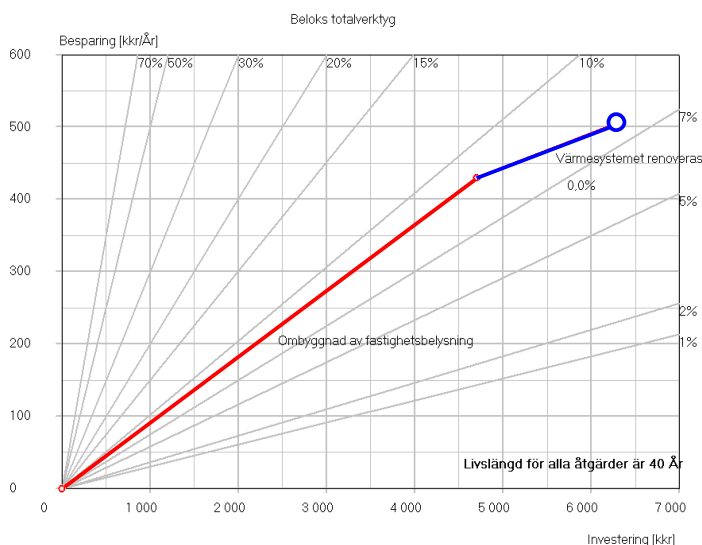
$$i(9,15) = 0,27 \quad i(9,30) = 0,075$$

$$1 + i(9,15) + i(9,30) = 1,35$$

Tabell 1
Exempel på energisparåtgärder med reinvestering

Nr	Åtgärd	Brukstid [år]	Investering [kkr]	Inkl reinvestering [kkr]	Besparing [kkr/år]
1	Ny fastighetsbelysning	15	350		140
2	Reducerad baslast värme	15	350		73
4	Införande av nattkyla sommartid	15	75		10
5	Nytt ventilationssystem	15	2.700		207
	Summa		3.475	4.700	430
3	Förbättrad takisolering	40	400		60
6	Nya fönster	40	1.200		26
	Summa		1.600		76

Man har nu två åtgärds paket, båda med ca 40 års brukstid



Figur 5. Åtgärds paketet enligt tabell 2 med reinvestering.

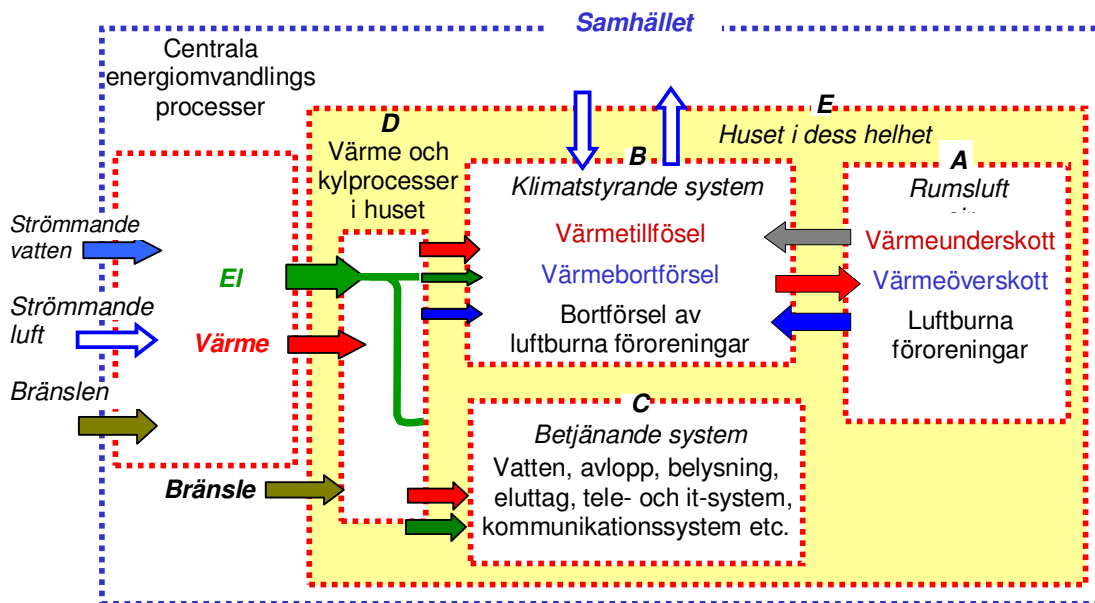
Interräntan med reinvestering blir således ca 8% jämfört med utan reinvestering då den enligt Figur 5 blir drygt 7%.

Kalkylunderlag

Som inledningsvis nämnts är det främst fråga om att ta fram ekonomiskt underlag för beslut om energieffektiviserande åtgärder i befintliga lokalbyggnader. En utgångspunkt har varit att välja en ekonomisk modell, som är enkel och överskådlig. Ekonomiska modeller i all ära, men i grunden är det tillförlitligheten av de grunduppgifter som används vid kalkylen, som är avgörande. Förutsättningen för att den energieffektivisering som eftersträvas skall komma till stånd i verkligheten är emellertid att de som skall besluta om genomförande kan lita på att de verkliga energibesparingarna kommer att bli som de beräknade.

Systemgränser

När man planerar energisparåtgärder är det ytterst viktigt att man från början bestämmer den *systemgräns* som gäller och att man sedan in te ändrar den under arbetets gång. Figur 6 visar tänkbara systemgränser då det gäller energiåtgärder i byggnader



Figur 6 Systemgränser vid analys av byggnaders energibeteende

BELOK:s Totalprojekt har fokuserats på att minska byggnaders värmebehov och elbehov genom förbättringar av byggnadsdelar och installationssystem. Inriktningen är själva *behovet*, inte hur behovet tillgodoses. Systemgränsen harsåledes lagts kring systemen **A**, **B** och **C**. Därför tas ändringar av försörjande system **D** inte tagits med i lönsamhetsbedömningen av de Totalprojekt som genomförts i BELOK:s regi.

Givetvis kan systemgräns **E** väljas, dvs man tar med allt inom huset, dvs inriktar sig helt på "köpt energi" och tar med åtgärder som byte av olje- eller elpanna till värmepump. Det viktiga är inte hur man väljer systemgränsen utan att man bestämmer sig från början av åtgärdsprojektet.

I det sammanhanget finns anledning att varna för att lägga systemgränsen långt utanför byggnaden, dvs inkludera hela samhället eller världen, dvs blanda in begrepp som

primärenergi. Dels riskerar man då svårgenomskådliga resonemang, dels finns risk för att man vidtar åtgärder, som senare kan visa sig felaktiga exempelvis då definitioner av primärenergi ändras genom politiska beslut eller teknikutveckling.

Energiberäkningar

En grundläggande förutsättning för att det i praktiken skall vara möjligt för fastighetsföretag att besluta om att genomföra ett ofta kostnadskrävande energibesparingsprojekt, är att man kan lita på beslutsunderlaget. Främst gäller det de beräknade energibesparingarna.

Erfarenheterna från energibesparing i lokalbyggnader visar klart att de stora besparingarna återfinns i de tekniska systemen som belysningssystemen, ventilationsystemen, värmesystemen, styr- och reglersystemen och kylsystemen. Utformningen av byggnadens klimatskärm och den byggnadstekniska utformningen i övrigt är av avgörande betydelse från första början då huset projekteras och byggs. När en lokalbyggnad väl är byggd blir det emellertid svårt att finna byggnadstekniska åtgärder som inte kostar alldeles för mycket i förhållande till de energibesparingar de kan ge.

För att kunna bedöma effekten av olika energisparåtgärder kan det krävas rätt många beräkningar eller simuleringar för att få ett tillförlitligt grepp om varje åtgärds inverkan på energianvändningen.

Det är därmed absolut nödvändigt att man använder beräkningsprogram eller simuleringsprogram som, när det gäller lokaler, är utformat för att behandla sådana och att det dessutom går att med rimliga arbetsinsatser analysera enskilda åtgärders inverkan.

Givetvis måste program som används vara validerade och den som genomför beräkningarna måste förstå hur beräkningsmodellen knyter an till den verkliga byggnad som skall simuleras.

Följande simuleringsmetodik² har gett resultat som visat sig ge en god överensstämmelse med den efter åtgärdernas genomförande uppmätta energianvändningen.

- Byggnaden modelleras och behovet av värme, el och kyla beräknas med antagna värden om drifttider, beläggning och belysningsanvändning mm. Dessa antagna ingångsvärden justeras sedan tills beräkningsresultatet stämmer med tidigare energistatistik

Härigenom fås en kalibrerad beräkningsmodell, som så långt möjligt efterliknar byggnadens verkliga användningsmönster.

- Med den efter tidigare uppmätta energiuppgifter korrigerade modellen simuleras energibehovet steg för steg för varje sparåtgärd.
 - åtgärd 1
 - åtgärder 1 och 2
 - åtgärder 1, 2 och 3
 - OSV

² Bergsten. E&M 8/2010

Härigenom säkerställs att man får med den inverkan på varandra som olika sparåtgärder kan ha.

Kostnadskalkyler

Kostnaden för de olika åtgärderna måste beräknas av en erfaren kalkylator. Kostnaden för varje åtgärd måste beräknas för sig, men hänsyn tas till hur de olika åtgärdernas samtidiga genomförande kan påverka kostnaden.

Det är alltid fastighetsägaren som bestämmer såväl de ekonomiska villkoren som förutsättningarna för kostnadskalkylen. Bland annat måste fastighetsägaren innan kostnadskalkylen påbörjas ange om projekteringskostnader skall ingå och om eventuella byggherrekostnader skall ingå i kostnadskalkylen. Givetvis måste det klart framgå i kalkylrapporten vad som har medräknats.

Det är inte ovanligt att energibesparande åtgärder genomförs samtidigt som man ändå genomför en renovering eller allmän upprustning av en fastighet. I kalkylerna är det då endast de kostnader som är direkt förknippade med de energieffektiviserande åtgärderna som ska tas med.

Om exempelvis fönster ändå skall bytas på grund av att de är i dåligt skick eller på grund av att inneklimatet är dåligt vintertid, skall endast extrakostnaden för speciellt energieffektiva fönster tas med i kalkylen.

Om en ventilationsanläggning måste bytas ut på grund av att anläggningen är nedgången eller inte uppfyller dagens krav på luftkvalitet, skall endast extrakostnaden för att nå speciellt hög energieffektivitet tas med.

Det är lämpligt att före projektets påbörjande rådgöra med fastighetsägaren, som får fastställa vad som skall inkluderas i kostnadskalkylen.

Tabell 1 Årskostnadsfaktor $P(r,n)$

$$P(r,n) = \frac{r/100}{1 - (1 + r/100)^{-n}}$$

Annuitetsfaktor $P(r,n)$

År	4%	6%	8%	10%	12%	15%	20%	25%
1	1,0400	1,0600	1,0800	1,1000	1,1200	1,1500	1,2000	1,2500
2	0,5302	0,5454	0,5608	0,5762	0,5917	0,6151	0,6545	0,6944
3	0,3603	0,3741	0,3880	0,4021	0,4163	0,4380	0,4747	0,5123
4	0,2755	0,2886	0,3019	0,3155	0,3292	0,3503	0,3863	0,4234
5	0,2246	0,2374	0,2505	0,2638	0,2774	0,2983	0,3344	0,3718
6	0,1908	0,2034	0,2163	0,2296	0,2432	0,2642	0,3007	0,3388
7	0,1666	0,1791	0,1921	0,2054	0,2191	0,2404	0,2774	0,3163
8	0,1485	0,1610	0,1740	0,1874	0,2013	0,2229	0,2606	0,3004
9	0,1345	0,1470	0,1601	0,1736	0,1877	0,2096	0,2481	0,2888
10	0,1233	0,1359	0,1490	0,1627	0,1770	0,1993	0,2385	0,2801
11	0,1141	0,1268	0,1401	0,1540	0,1684	0,1911	0,2311	0,2735
12	0,1066	0,1193	0,1327	0,1468	0,1614	0,1845	0,2253	0,2684
13	0,1001	0,1130	0,1265	0,1408	0,1557	0,1791	0,2206	0,2645
14	0,0947	0,1076	0,1213	0,1357	0,1509	0,1747	0,2169	0,2615
15	0,0899	0,1030	0,1168	0,1315	0,1468	0,1710	0,2139	0,2591
16	0,0858	0,0990	0,1130	0,1278	0,1434	0,1679	0,2114	0,2572
17	0,0822	0,0954	0,1096	0,1247	0,1405	0,1654	0,2094	0,2558
18	0,0790	0,0924	0,1067	0,1219	0,1379	0,1632	0,2078	0,2546
19	0,0761	0,0896	0,1041	0,1195	0,1358	0,1613	0,2065	0,2537
20	0,0736	0,0872	0,1019	0,1175	0,1339	0,1598	0,2054	0,2529
25	0,0640	0,0782	0,0937	0,1102	0,1275	0,1547	0,2021	0,2509
30	0,0578	0,0726	0,0888	0,1061	0,1241	0,1523	0,2008	0,2503
35	0,0536	0,0690	0,0858	0,1037	0,1223	0,1511	0,2003	0,2501
40	0,0505	0,0665	0,0839	0,1023	0,1213	0,1506	0,2001	0,2500
45	0,0483	0,0647	0,0826	0,1014	0,1207	0,1503	0,2001	0,2500
50	0,0466	0,0634	0,0817	0,1009	0,1204	0,1501	0,2000	0,2500

Tabell 2 Nuvärdesfaktor $I(r,n)$

$$I(r,n) = \frac{1 - (1 + r/100)^{-n}}{r/100}$$

Nuvärdesfaktor $I(r,n)$

År	4%	6%	8%	10%	12%	15%	20%	25%
1	0,9615	0,9434	0,9259	0,9091	0,8929	0,8696	0,8333	0,8000
2	1,8861	1,8334	1,7833	1,7355	1,6901	1,6257	1,5278	1,4400
3	2,7751	2,6730	2,5771	2,4869	2,4018	2,2832	2,1065	1,9520
4	3,6299	3,4651	3,3121	3,1699	3,0373	2,8550	2,5887	2,3616
5	4,4518	4,2124	3,9927	3,7908	3,6048	3,3522	2,9906	2,6893
6	5,2421	4,9173	4,6229	4,3553	4,1114	3,7845	3,3255	2,9514
7	6,0021	5,5824	5,2064	4,8684	4,5638	4,1604	3,6046	3,1611
8	6,7327	6,2098	5,7466	5,3349	4,9676	4,4873	3,8372	3,3289
9	7,4353	6,8017	6,2469	5,7590	5,3282	4,7716	4,0310	3,4631
10	8,1109	7,3601	6,7101	6,1446	5,6502	5,0188	4,1925	3,5705
11	8,7605	7,8869	7,1390	6,4951	5,9377	5,2337	4,3271	3,6564
12	9,3851	8,3838	7,5361	6,8137	6,1944	5,4206	4,4392	3,7251
13	9,9856	8,8527	7,9038	7,1034	6,4235	5,5831	4,5327	3,7801
14	10,5631	9,2950	8,2442	7,3667	6,6282	5,7245	4,6106	3,8241
15	11,1184	9,7122	8,5595	7,6061	6,8109	5,8474	4,6755	3,8593
16	11,6523	10,1059	8,8514	7,8237	6,9740	5,9542	4,7296	3,8874
17	12,1657	10,4773	9,1216	8,0216	7,1196	6,0472	4,7746	3,9099
18	12,6593	10,8276	9,3719	8,2014	7,2497	6,1280	4,8122	3,9279
19	13,1339	11,1581	9,6036	8,3649	7,3658	6,1982	4,8435	3,9424
20	13,5903	11,4699	9,8181	8,5136	7,4694	6,2593	4,8696	3,9539
25	15,6221	12,7834	10,6748	9,0770	7,8431	6,4641	4,9476	3,9849
30	17,2920	13,7648	11,2578	9,4269	8,0552	6,5660	4,9789	3,9950
35	18,6646	14,4982	11,6546	9,6442	8,1755	6,6166	4,9915	3,9984
40	19,7928	15,0463	11,9346	9,7791	8,2438	6,6418	4,9966	3,9995
45	20,7200	15,4558	12,1084	9,8628	8,2825	6,6543	4,9986	3,9998
50	21,4822	15,7619	12,2335	9,9148	8,3045	6,6605	4,9995	3,9999

Tabell 3 Nuvärdesfaktor enstaka utfall $i(r,n)$

$$i(r,n) = \frac{1}{(1+r)^n}$$

Nuvärdesfaktor för ett enstaka belopp $i(r,n)$

År	4%	6%	8%	10%	12%	15%	20%	25%
1	0,9615	0,9434	0,9259	0,9091	0,8929	0,8696	0,8333	0,8000
2	0,9246	0,8900	0,8573	0,8264	0,7972	0,7561	0,6944	0,6400
3	0,8890	0,8396	0,7938	0,7513	0,7118	0,6575	0,5787	0,5120
4	0,8548	0,7921	0,7350	0,6830	0,6355	0,5718	0,4823	0,4096
5	0,8219	0,7473	0,6806	0,6209	0,5674	0,4972	0,4019	0,3277
6	0,7903	0,7050	0,6302	0,5645	0,5066	0,4323	0,3349	0,2621
7	0,7599	0,6651	0,5835	0,5132	0,4523	0,3759	0,2791	0,2097
8	0,7307	0,6274	0,5403	0,4665	0,4039	0,3269	0,2326	0,1678
9	0,7026	0,5919	0,5002	0,4241	0,3606	0,2843	0,1938	0,1342
10	0,6756	0,5584	0,4632	0,3855	0,3220	0,2472	0,1615	0,1074
11	0,6496	0,5268	0,4289	0,3505	0,2875	0,2149	0,1346	0,0859
12	0,6246	0,4970	0,3971	0,3186	0,2567	0,1869	0,1122	0,0687
13	0,6006	0,4688	0,3677	0,2897	0,2292	0,1625	0,0935	0,0550
14	0,5775	0,4423	0,3405	0,2633	0,2046	0,1413	0,0779	0,0440
15	0,5553	0,4173	0,3152	0,2394	0,1827	0,1229	0,0649	0,0352
16	0,5339	0,3936	0,2919	0,2176	0,1631	0,1069	0,0541	0,0281
17	0,5134	0,3714	0,2703	0,1978	0,1456	0,0929	0,0451	0,0225
18	0,4936	0,3503	0,2502	0,1799	0,1300	0,0808	0,0376	0,0180
19	0,4746	0,3305	0,2317	0,1635	0,1161	0,0703	0,0313	0,0144
20	0,4564	0,3118	0,2145	0,1486	0,1037	0,0611	0,0261	0,0115
25	0,3751	0,2330	0,1460	0,0923	0,0588	0,0304	0,0105	0,0038
30	0,3083	0,1741	0,0994	0,0573	0,0334	0,0151	0,0042	0,0012
35	0,2534	0,1301	0,0676	0,0356	0,0189	0,0075	0,0017	0,0004
40	0,2083	0,0972	0,0460	0,0221	0,0107	0,0037	0,0007	0,0001
45	0,1712	0,0727	0,0313	0,0137	0,0061	0,0019	0,0003	0,0000
50	0,1407	0,0543	0,0213	0,0085	0,0035	0,0009	0,0001	0,0000