

Die integrering van prys-/kosteberaming en konstruksiebeplanning - die gerekenariseerde generering van konstruksiebedrywighede

P.A. Bowen*

Departement Konstruksie-ekonomiese en -bestuur, Universiteit van Kaapstad, Rondebosch, 7700
(Besoekende Professor, Departement Bourekenkunde, Universiteit Glasgow Caledonia, Skotland)

G.J. Erwin

Afdeling Besigheidsinligtingstelsels, Departement Rekeningkunde en Finansies, Universiteit van Durban-Westville, Durban, 4001

G.K. le Roux

Departement Bourekenkunde, Universiteit van Port Elizabeth, Posbus 1600, Port Elizabeth, 6000

Ontvang 29 Augustus 1995; aanvaar 16 September 1996

UITTREKSEL

Die feit dat tradisionele prys-/kostemodelle glad nie op die konstruksieproses betrekking het nie, maak dié modelle grootliks ongeskik vir die verskaffing van sinvolle advies oor prys/koste. Die aard en duur van die konstruksiebeplanningsproses maak dit by voorbaat onmoontlik om dit gedurende die voortenderfase van die tradisionele bouverkrygingsproses by prys-/kosteberaming in te sluit. Die kern van die modelleringsprobleem is hoe om die ingewikelde konstruksiebeplanningsproses reeds in die voortenderstadium in die prys-/kosteberamingsproses te integreer. In dié verhandeling stel die skrywers voor dat kunsmatige intelligensietegnieke en konstruksiebeplanningsstegnieke gesintetiseer word om 'n konseptuele raamwerk te verskaf vir 'n netwerkgebaseerde prysberamingstelsel wat bourekenaars tydens die kostberekening van geboue kan gebruik. Daar word aangevoer dat so 'n benadering moontlik die gehalte van die interpersoonlike kommunikasieproses van die bourekenaar kan verbeter, waardeur die doeltreffendheid van die interpersoonlike oordra van prys-/kosteboodskappe verhoog kan word.

ABSTRACT

The integration of price/cost modelling and construction planning - the automated generation of construction operation

The fact that traditional price/cost models are unrelated to the construction process renders them largely unsuited to the provision of meaningful price/cost advice. The nature and lengthiness of the construction planning process has precluded its incorporation into price/cost modelling during the pre-tender phase of the traditional building procurement process. The nub of the modelling problem has been how to integrate the complex process of construction planning into the pre-tender price/cost modelling process. In this paper the authors propose the synthesis of artificial intelligence techniques and construction planning techniques, resulting in a conceptual framework for a network-based cost modelling system for use by quantity surveyors in the cost modelling of buildings. It is suggested that such an approach has the potential for improving the quality of the intrapersonal communication process of the quantity surveyor, thereby enhancing the effectiveness of the interpersonal communication of price/cost messages.

INLEIDING

Volgens literatuurbronne word heelwat navorsing deesdae gedoen oor die toepassingsmoontlikhede van ekspertstelsels vir die konstruksiebedryf. Voorbeeld hiervan sluit in ekspertstelsels vir: konstruksietyd- en -koste-analise;¹ baksteenbekledingsontwerp;² foutdiagnose vir steenwerk;³ projekbestuur;⁴ en die strategiese beplanning van konstruksieprojekte.⁵ Die volgende tegnieke geniet tans ook baie aandag: kennisisamelingstegnieke vir konstruksie-ekspertstelsels;⁶ reëlgenerering⁷ en die evaluering van ekspertstelseldoppe vir aanwending in die konstruksiebedryf.⁸

Dit val buite die bestek van dié artikel om 'n uitvoerige uiteensetting te gee van navorsing oor ekspertstelsels en verwante kwessies wat op die konstruksiebedryf van toepassing

is. Daar word volstaan met 'n oorsig (sien tabel 1) van sommige van die modelle wat ontwikkel is om die kundigheid van konstruksiebeplanners in te span wanneer besluite oor ontwerpe geneem word. Die modelle voorgestel deur Bennett en Ormerod,⁹ Thompson en Willmer,¹⁰ Gray,¹¹ Brandon et al.¹² en Howes¹³ is voorbeeld hiervan. Die doel van dié gedeelte is om insig te gee in die *moontlikheid* om die kern van die kennis en die interpersoonlike kommunikasieprosesse van konstruksiebeplanners binne ekspertstelsels weer te gee.

Die aard van die modelle wat *infra* getabuleer word, toon die vordering wat reeds gemaak is met die vaslegging van die tersaaklike konstruksieverwante kundigheid vir gebruik tydens die voortenderfase van bouprojekte. Ekspertstelsels moet klaarblyklik nie as 'n spesifieke prys-/kosteberamingstegniek beskou word nie. Hulle moet eerder beskou word as stelsels

* Outeur aan wie korrespondensie gerig kan word.

wat 'n gesikte *omgewing* vir die implementering van *toepaslike* prys-/kosteberamings bied; 'n omgewing wat dit moontlik maak om deskundiges se interpersoonlike kommunikasieprosesse vaste lê op 'n wyse wat logies deursigtig vir die gebruiker is. Bowen¹¹ het 'n kommunikasiegebaseerde benadering tot prysvoorspelling beskryf.

Alhoewel modelleringstelsels oor die algemeen voldoen aan hul beoogde doel om 'n regstreekse band tussen ontwerpsbesluite en die konstruksieproses te skep, is daar etlike beperkings wat die praktiese toepassing van selfs die gevorderdste van dié stelsels belemmer.

Dié beperkings kan soos volg saamgevat word (aangepas van Marston en Skitmore¹²):

- Die operasionele plan vir die projek word met die hand opgestel. Die kennis wat nodig is vir planontwikkeling in die aanvanklike projekfases is gewoonlik nie toeganklik nie. Die konvensionele beplanningstegnieke wat gebruik sal moet word, is boonop gedetailleerd van aard en tydwend om voor te berei. Waar planontwikkeling met die hand nie nodig is nie, is die gegenereerde planne nie uitvoerig van aard nie. Met ander woorde, 'n aansienlike hoeveelheid aanvullende menslike kundigheid word steeds vir die skep van operasionele planne vereis. Kortom: die "model" in die

rekenaar is dus onvolledig.

- Waarskynlikheidsverdelings moet omskryf word vir alle betekenisvolle veranderlikes wat in die stelsel vervat word. Weens die gebreklike empiriese gegewens is die omskrywing van dié verdelings gewoonlik subjektief van aard.
- Die afvoer van dié modelle is dikwels in 'n ongewone formaat, wat dit moeilik maak om te verstaan. Dit belemmer kommunikasie, aangesien die gebruiker, wat die toepaslike "gedagtemodel" betref, nie met die afvoer vertroud is nie. Dit beïnvloed weer die dekoderingsproses.
- Dié stelsels dek nie die belangrike aspek van bestuurskontrole gedurende die konstruksiefase nie.

Wanneer die potensiaal van dié modelle as voertuie vir die verbetering van die interpersoonlike kommunikasieproses wat met kosteberaming gepaardgaan, bespreek word, moet kennis geneem word van die doel van dié werktuie. Die doel van die modelle is naamlik om as voertuie te dien vir die generering van inligting vir gebruik in die interpersoonlike proses van die oordra van prysbodskappe op so 'n wyse dat gedeelde betekenis gemaksimaliseer word en doeltreffende kommunikasie bevorder word. Van voormalde beperkings is die eerste miskien die ernstigste, aangesien dit die bruikbaarheid van sodanige stelsels as 'n metode om proaktiewe ontwerp-tot-koste-advies gedurende

TABEL 1 'n Keuse van modelle vir prys-/koste-/tydsberaming gebaseer op ekspertstelsels

Model	Ontwikkelaar(s)	Beskrywing
Konstruksieprojeksimulator	Universiteit van Reading ⁹	'n Stogastiese simulasiegebaseerde konstruksiebeplanningsmodel wat die belangrike kenmerke van veranderlikheid en steuring uitdruklik kan identifiseer en insluit. Projekinligting word hiërargies gerangskik, gebaseer op die aktiwiteite waardeur die gebou opgerig word. Hiërargiese stafiekaarte word gebruik
Rekenaargesteunde simulasie vir projekbeoordeling en hersiening	Universiteit van Manchester Institute of Science and Technology ¹⁰	'n Netwerkgebaseerde stelsel wat stogastiese simulasie gebruik vir die evaluering van die risiko verbonde aan strategiese ontwikkelingsbesluite vir groot ingenieurskemas. Wesenlik 'n modifikasie van die PERT-benadering
"Intelligente" konstruksietyd- en koste-analise	Universiteit van Reading ¹¹	Ontwikkel om 'n voorspelling van die totale konstruksietyd te voorsien wanneer alternatiewe konstruksiemetodes oorweeg word. Benut kennis verkry van konstruksiebeplanningsdeskundiges vir die seleksie van aktiwiteite, die bepaling van 'n voorranglys en die raming van die duur. Stafiekaarte word gegenereer
Die strategiese beplanning van konstruksieprojekte	Universiteit van Salford en R.I.C.S. ⁵	Ontwerp om gebruik te word in die strategiese beplanning van kommersiële bouprojekte alvorens formele ontwerp. Integreer die kennis van bourekenaars en konstruksiebeplanners. Bestaan uit vier verbandhoudende modules: kosteberaming, aanskaffing, voltooiingstyd en ontwikkelingsberaming. Verslae word gegenereer
Projekbestuur, kostebeheer en verslagdoeningstelsel	Howes ⁴	Die ontwerp van 'n projekbestuurstegniek om in die beplanningstaak te assisteer, finansiële beheer, kontrolering en verslaggewing oor bouprojekte. Stafiekaarte word gegenereer

die voortenderfase te voorsien, aansienlik beperk. Die ander beperkings is minder ernstig van aard, alhoewel hulle nie onbenullig is nie. Ten spye van dié beperkings verteenwoordig die ontwikkeling van bogemelde modelle belangrike vordering in die proses om 'n metode te vind om konstruksiekundigheid en prys-/kosteberaming te integreer.

Tydens konvensionele konstruksiebeplanning word planne met die hand geformuleer, gewoonlik op 'n intuïtiewe en ongestrukeerde wyse, met die klem op subjektiewe oordeel en ondervinding.¹³ Die skep van PERT/KPM-netwerke is tradisioneel 'n langsame proses waartydens konstruksiebeplanners planne vanal projektekening opstel. Ondervinding en netwerke wat van vorige projekte verkry is, is belangrike werktuie in die beplanningsproses. Weens die aard en duur van dié proses kan dit nie gedurende die voortenderfase van die tradisionele bouverkrygingsproses by prys-/kosteberaming ingesluit word nie. *Die kern van die probleem is dus hoe om tydens die voortenderfase die komplekse konstruksiebeplanningsproses met die prys-/kosteberamingsproses te integreer.*

Sedert Newell en Simon¹⁴ is gerekenariseerde beplanning 'n kenmerk van navorsing oor kunsmatige intelligensie. Marston en Skitmore¹² verklaar met verwysing na Sacerdoti¹⁵ en Nillson¹⁶ dat die beplanningstaak ingevolge navorsing oor kunsmatige intelligensie omskryf word as die voorafbepaling van 'n transformasieproses deur die keuse van 'n reeks handelinge wat, wanneer dit chronologies gerangskik word, 'n aanvanklike situasie in 'n "doelwit"-situasie sal omskep. Planne kan óf lineêr wees, waar aktiwiteit in volgorde benader word, óf nie-lineêr (kenmerkend van konstruksiebedrywighede) waar aktiwiteit dikwels tegelykertyd plaasvind.

Formoso¹⁷ verskaf 'n opsomming van navorsingspogings oor die skep van kunsmatige-intelligensiestelsels vir konstruksieprojekte wat die beplanningsproses kan rekeneriseer. Dit sluit die werk van Levitt en Kunz,¹⁸ Gray,¹ Hendrickson et al.,¹³ Ibbs en De La Garza,¹⁹ Navinchandra et al.²⁰ en Alshawi en Jaggar²¹ in.

Die modelle wat in die Verenigde Koninkryk ontwikkel is, het hul ontstaan hoofsaaklik te danke aan die vraag in die bourekenaarsprofessione na 'n mechanisme waarvolgens produksiekennis gedurende die vroeë ontwerpstadums as 'n faktor in prys-/koste-/tydsberaming ingevoer kan word. Die modelle van Gray¹ en Brandon et al.⁵ is byvoorbeeld nuttige werktuie vir die *voorspelling* van die duur van projekte (en hoofstadums) en vir die vergelyking van verskillende ontwerpsalternatiewe wat konstruksietyd as 'n kriterium gebruik. Die modelle behels wesentlik prysvoorspellingsstegnieke wat konstruksiemetodes en die duur daarvan in aanmerking neem.¹⁷

In die Verenigde State van Amerika word navorsing hoofsaaklik gerig op die gebruik van KPM-tegnieke vir konstruksiebeplanning. Dié navorsing word veral gerig op die gerekenariseerde bywerking van netwerke,¹⁸ die kritisering en validering van netwerke,¹⁹ die raming van aktiwiteitsduur¹³ en die bepaling van aktiwiteitsvoorrang.²⁰

Opsommenderwys kan dié navorsing in twee hoofkategorieë ingedeel word, naamlik die navorsing wat oor die kwessie van kennisisameling handel (byvoorbeeld Gray,¹ Hendrickson et al.,¹³ Brandon et al.⁵) en die navorsing wat oor kennisvoorstelling en inferensiemeganismes handel (byvoorbeeld Navinchandra et al.).²⁰

Dié ontwikkelings in die rekenerisering van konstruksiebeplanning en die vaslegging van konstruksiekundigheid hou klaarblyklik belofte in vir die oplossing van 'n aantal probleme wat *supra* geïdentifiseer is in die toepassing van produksiegebaseerde simulasiemodelle vir prys-/koste-/tydvoorspelling.

Meer spesifiek: 'n aantal potensiële voordele sal waarskynlik

uit die toepassing van so 'n ekspertstelsel-gebaseerde benadering verkry word. Eerstens sal die fasilitet om die konstruksieplan te modifiseer of by te werk die gebruiker in staat stel om die uitwerking van verskillende ontwerpsbesluite en/of konstruksiemetodes ten opsigte van koste, tyd en hulpbronbenutting te simuleer. Tweedens sal sodanige stelsels, afgesien van die klaarblyklike voordeel van die fasilitering van die opstel van produksieplanne, die kundigheid van deskundiges ook vir nie-deskundiges toeganklik maak. Met ander woorde, die bourekenaar sal in staat gestel word om die stelsel te gebruik sonder dat hy noodwendig oor die vereiste uitvoerige kennis van konstruksiebeplanning hoef te beskik. Dit kan moontlik 'n positiewe uitwerking op die gehalte van die interpersoonlike kommunikasieproses verbonde aan prys-/kosteberaming hê, dit wil sê beter voorbereiding vir die interpersoonlike kommunikasieproses wat volg. Dit sal daarbenewens die vroeë, proaktiewe betrokkenheid van die bourekenaar in die bouverkrygingsproses faciliteer.

Laastens kan die probleem van die verkryging van gesikte data vir die stogastiese behandeling van veranderlikes in die proses (byvoorbeeld aktiwiteitsduur) aanvanklik opgelos word deur die toepassing van reëlgebaseerde tegnieke vir die modifikasie van standaardgegewens.¹³ Ander benadering sou wees om 'n "geschiedenismerk" gebaseer op die bywerking van die konstruksieplan, wat gegewens vir veranderlike verdelings vergader, in te sluit. 'n Bykomende kenmerk kan die vermoë wees om intydse bestursbeheer vir die ondersoek van ontwerps- en konstruksie-alternatiewe na te boots.

Dit wil dus voorkom asof dit moontlik is om 'n hulpbron-gebaseerde, stogastiese modelleringsomgewing deur die integrering van konstruksiebeplanningstegnieke, ekspertstelsels en stogastiese simulasie te skep. Daar word aan die hand gedoen dat die vereniging van die ontwerps- en konstruksiefunksies die sinergie sal skep wat die onmisbare skakel tussen ontwerpsbesluite en die konstruksieproses sal verskaf en waarskynlik die aard en gehalte van die prysadviesmededelings van bourekenaars posities sal beïnvloed.

'N KONSEPTUELE RAAMWERK VIR 'N KOSTEBERAMINGSTELSEL

Hierkragtens word kunsmatige-intelligensiestegnieke en konstruksiebeplanningstegnieke gesinteliseer, wat 'n konseptuele raamwerk bied vir 'n netwerkgebaseerde kosteberamingstelsel wat bourekenaars kan gebruik wanneer hulle prysadvies gee. Daar word aangevoer dat so 'n benadering moontlik die gehalte van die intrapersoonlike kommunikasieproses van die bourekenaar sal verbeter, waardeur die doeltreffendheid van die interpersoonlike oordrag van prysboodskappe verhoog sal word.

Die beoogde konseptuele raamwerk is, gebaseer op die voorstelle van Bowen en Erwin,²² 'n Uitvoerige beskrywing van dié voorstelle word vervat in die *South African Journal of Science*.²² Daar word voorgestel dat KPM/PERT-netwerke as die basiese prysberamingstruktuur gebruik word.

Vir 'n gegewe struktuur, het sy 'n kantoorgebou of 'n fabriek, kan 'n stel toepaslike operasionele boë vir gegewe elemente of gedeeltes van die werk omskryf word. Die konstruksieboë van toepassing op 'n kommersiële gebou wat uit 'n winkelpodium en uit 'n kantoortoring bestaan, sal byvoorbeeld 'n funksie van die elemente en werkgedeeltes inherent aan dié projek wees. Kenmerkende boë sal die fondasie, kelderkonstruksie en strukturraraamwerke vir beide die winkelpodium en die kantoortoring insluit. Die toepaslike stel boë vir enige spesifieke gebou sal 'n funksie van ontwerpsparameters soos die gebouuitleg, grootte en interelement-verhoudings, byvoorbeeld

ontwerpsparameters, wees. Sodanige inligting sou insette deur die gebruiker wees in antwoord op navrae deur die stelsel.

Dié vorm van voorstelling is klaarblyklik baie abstrak: die konstruksieproses word deur 'n kern- of primêre stel konstruksieboë voorgestel. Die aantal boë sal wissel na gelang van die ingewikkeldheid van die projek. Figuur 1 illustreer die konsepkonstruksieboë.

Die konstruksieboog vir 'n spesifieke element of gedeelte van die gebou (byvoorbeeld die gewapende beton-raamwerk) sal gepaardgaan met 'n netwerk konstruksiebedrywigheid wat operasionele procedures op 'n uitvoeriger vlak weerspieël. In die lig daarvan dat 'n keuse van netwerke uit 'n familiegroep van tersaaklike netwerke vir 'n spesifieke konstruksieboog bestaan, is dit duidelik dat aandag aan die probleem van die keuse van 'n geskikte netwerk gegee moet word.

Dit is hier waar ekspertstelsels as van besondere belang beskou word, aangesien dit 'n metode bied waarvolgens toepaslike netwerkmodules geïdentifiseer en ingesluit kan word. Die seleksieprocedure moet verkieslik op verskillende vlakke van netwerkabstraksie plaasvind en die beskikbaarheid van inligting op die bepaalde ontwerpstadium weerspieël - wesenlik 'n hiërargie van netwerkvoorstelling (sien figuur 2).

Net 'n beperkte getal moontlike netwerkkonfigurasies vir enige diskrete bou-elementproses (boog) is beskikbaar. Die presiese netwerkkonfigurasie wat gekies word om die projek-element (boog) in oorweging voor te stel, word bepaal as 'n funksie van ontwerpparameters en ander gebruikersinsette.

Saam met elke konstruksienetwerk gaan die fisiese en ander parameters wat die spesifieke konstruksieproses omskryf. Met betrekking tot die konstruksie van 'n struktuurraamwerk sou sodanige data byvoorbeeld inligting insluit soos die toepaslike groottes van werkspanne, produktiwiteitsfvers, die teenwoordigheid en spasiëring van pilare, betonmengsels, die tipe staalbewapening en die belastings waaraan die struktuurdele onderwerp sal word. Wanneer sodanige inligting afwesig is, wat gewoonlik in die vroeë ontwerpstadiums die geval is, word versteekdata met betrekking tot ontwerp-/konstruksienorme gebruik. Sodanige versteekdata word dan in 'n geskikte databasis bewaar. Die databasis sal wesenlik uit twee (of meer) databasisse bestaan: die een sal die insetwaardes bewaar, en die ander inligting soos relevante konstruksiekoste.

Saam met elke netwerk en die kennisdatabasis gaan funksies wat die duur, koste en hulpbronne van die konstruksie-aktiwiteit beskryf. Kennisdatabasisse wat verband hou met die duur-, koste- en hulpbronvereistes sal 'n funksie van gebruikersinsette wees en verander na gelang die waardes van die ontwerpsparameters verander. Die duur en koste van elke netwerk sal presies bereken kan word omdat die verhoudings as vooraf-bepaalde funksies (algoritmes) omskryf deur die bourekenaar en/of konstruksiebeplanner uitgedruk kan word.

Uit bestaande volg dit dat die parameters wat die tersaaklike konstruksie-aktiwiteitsnetwerke aanvanklik omskryf het, nou uitgebrei kan word om enige kennis van of inligting oor die duur, koste en hulpbronne van elke konstruksie-aktiwiteit in die netwerk in te sluit. Die parameters wat elke aktiwiteit omskryf, kan verder uitgebrei word om alle faktore wat as relevant beskou word, in te sluit.

Sodra die netwerk en verwante aktiwiteite ten opsigte van die betrokke boog (element) gekies is, word dit gebruik om die duur en koste van die netwerk ingevolge die vasgelegde voorwaardes te bereken. Die aggregasiebeginsel word dan gebruik om die totale koste en duur van die netwerk en die hulpbronvereistes te bereken.

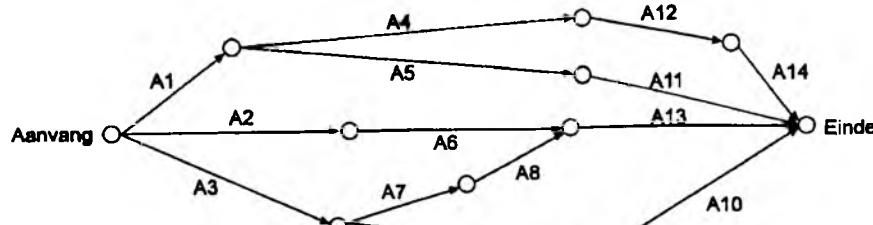
Die model behoort verbeter te kan word deur die gebruik van stogastiese simulasié om 'n waarskynlikheidsdimensie aan die tyds- en kosteberaming te verleen. Deur steekproewe van bekende of veronderstelde verdelings van die faktore en koste betrokke in die bou-(netwerk-)proses te doen, behoort dit moontlik te wees om die verwagte waarde van die faktore (byvoorbeeld deur aggregasie) te bereken, asook hul verwante waarskynlikheidsverdelings.

Uit die voorafgaande wil dit lyk asof dieselfde logika op al die ander konstruksieboë van die bouproduksieproses toegepas sal kan word. Op dié wyse sal 'n konstruksienetwerk vir die hele projek geskep kan word.

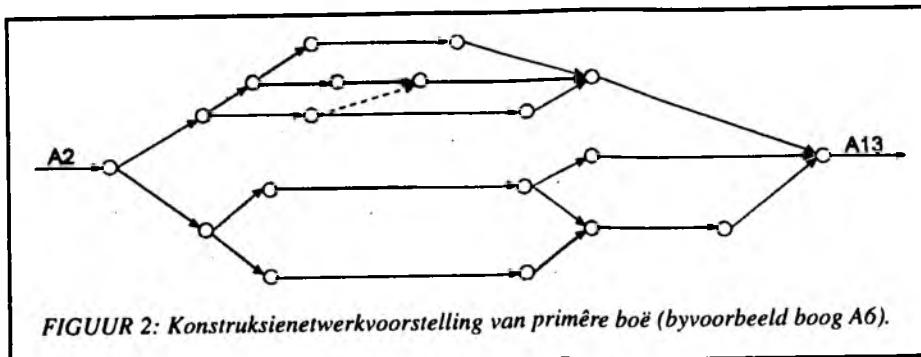
Die konseptuele raamwerk wat hierbo geskets word, sal nie beperk wees tot die netwerke wat in die kennisbasis vervat word nie. Dit wil voorkom asof die geskikste netwerk uit die kennisbasis getrek sal kan word en dat dié netwerk se voorstelling van die betrokke element (boog) dan geëvalueer en, waar nodig, gewysig sal kan word (via 'n redigeerproses) om die spesifieke konstruksieproses wat gemodelleer word, akkurater voor te stel. Silverman en Moustakis²³ het 'n nuttige benadering voorgestel vir die klassifisering van projekte met soortgelyke funksionele kenmerke. Die logiese uitbreiding van dié benadering is dat die netwerkennisbasis vergroot kan word na gelang meer netwerke bygevoeg word. Dié redigeerprocedure kan ook op die totale (gekonstrueerde) projeknetwerk toegepas word.

Daar word voorsien dat die netwerkgebaseerde modelleringstelsel, waarvan die algemene uitleg in figuur 3 uitgebeeld word, die volgende komponente sal bevat:

- Ekspertstelseldop - die inferen-



FIGUUR 1: Projekvoorstelling deur primêre konstruksieboë.



FIGUUR 2: Konstruksienetwerkvoorstelling van primêre boë (byvoorbeeld boog A6).

siemasjien wat die manipuleringsreëls op die kennisbasis toepas.

- Kennisvoorstelling - die distillering van die "kundigheid" van argitekte, bourekenaars en konstruksiebeplanners.
- Databasis van projekte - werklike data van projekte, soos gehaltepesifikasies, koste, tydsberekening, duur, hulpbron vereistes en masjinerie.
- Databasis van konstruksienetwerke - die bewaring van tipiese "skelet"-netwerke van verskillende gebou-elemente (boë) vir verskillende projekklassifikasies.
- Hoofparameters - agtergrondsinligting oor ekonomiese en bedryfstoestande, byvoorbeeld die inflasiekous, die mededeling op die mark en die beskikbaarheid van werk.
- Gebruikerskoppelvlak - modules wat die gebruiker in staat stel om met die ekspertstelselomgewing te kommunikeer, byvoorbeeld skerm met grafiese vertoon.

Elkeen van dié komponente sal nou kortliks bespreek word. 'n Uitvoerige uiteensetting word deur Bowen en Erwin²² verskaf.

Ekspertstelseldop

Vir die insluiting van die konstruksiebeplanningsproses, asook ander relevante kennis, moet 'n stelselontwikkelingshulpmiddel vir 'n kennisbasis gekies word wat 'n gesikte omgewing bied vir die voorstelling van konstruksiebeplanningskennis. Die basiese tipes domeinspesifieke kennis wat voorgestel moet word, is feite, opinies, omskrywings, heuristieseoordele en prosedures. Produksiereëls en raamwerkgebaseerde voorstelling is reeds met welslae in die generering van konstruksiebeplanningsprosesse gekombineer.^{13, 24} 'n Sterker ontwikkelingsomgewing sal produksiereëls, raamwerke, alternatiewe vir soekstrategieë en die vermoë om newelagtige ("fuzzy") verhoudings te hanter, insluit.²⁵

Allwood^{26, 27} en Allwood et al.²⁸ het 'n evaluering van die gesiktheid van 'n seleksie ekspertstelseldoppe vir die konstruksiebedryf opgeteken. Die *Leonardo Shell*²⁹ is 'n

voorbeeld van een van die kommersieel beskikbare ekspertstelsels en word as gesik vir die voorstelling van konstruksiebedrywigheide beskou.^{17, 25} Dié spesifieke dop, wat op 'n objekgerigte wyse gestructureer is, gebruik reëls en raamwerke gelykydig as kennisvoorstellingstrukture.

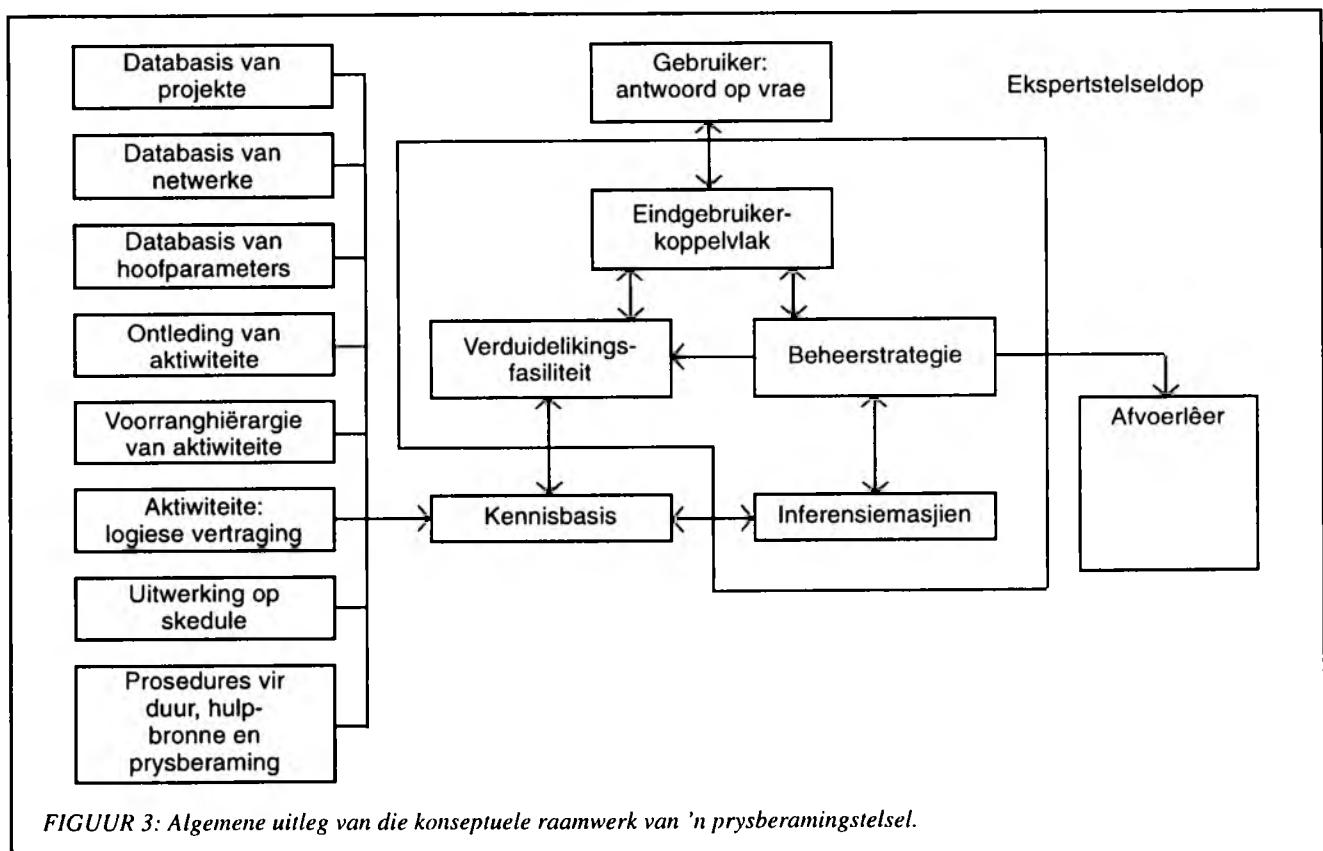
Kennisvoorstelling

Daar bestaan etlike verskillende metodes vir die voorstelling van kennis. Die keuse van 'n metode word beïnvloed deur die tipe kennis wat voorgestel moet word. Twee metodes wat met welslae vir die voorstelling van konstruksiekennis gebruik word, is reëls en raamwerke.^{17, 24}

Reëls vir die netwerkgebaseerde prysberamingstelsel kan via verskillende implementeringstale gespesifiseer word, byvoorbeeld deur "C", PASCAL, PROLOG of LISP. Die reëltaal in die *Leonardo Shell* is byvoorbeeld op eerste-orde-gesegdalogika gebaseer: gesegdes ("predicates") soos "is", "includes", "overlaps", "excludes" en "equivalent" word gebruik.

Ook raamwerke kan gebruik word om konstruksiekennis voor te stel. Elke objek in *Leonardo* kry byvoorbeeld 'n raamwerk, wat verskeie gleuwe bevat. Dié gleuwe word gebruik om boodskappe te vertoon, inferensie te beheer, inligting oor die eienskappe van objekte te bewaar en skerms te genereer. Raamwerke kan daarbenewens hiërgaries georganiseer word met die gebruik van spesiale objekte (klasobjekte) - dit fasiliteer die ondersteuning van eienskapsoorerwing.

Kennisvoorstelling gebaseer op geskrewe tekste³⁰⁻³² bied 'n alternatief vir reëls en raamwerke en is na bewering van besondere nut danksy die vermoë wat dit het om tydgebaseerde afhanglike gebeurtenisse te manipuleer. Bowen en Erwin³³ beskryf hoe dié gebeurtenisse in die evaluering van gebouontwerpe aangewend kan word. Konstruksienetwerkgebeurtenisse vertoon onder meer dieselfde kenmerke as geskreweteksggebeurtenisvolgordes, naamlik *duur* ('n begin en 'n einde), *afhanglikheid* (gebeurtenisse wat voor/na ander plaasvind) en *stereotipe aspekte* (die gebeurtenisvolgordes is dikwels voorspel-



FIGUUR 3: Algemene uitleg van die konseptuele raamwerk van 'n prysberamingstelsel.

baar en word goed verstaan). Daar word aangevoer dat geskrewe tekste die voordele bied dat dit cienskappe oororf³² en doeltreffende deurkruising deur die kennisvoorstellingstruktuur verseker.³⁴

By geskreweteks-gebaseerde kennisvoorstelling geld elke geskrewe teks se omskrywings spesifiek vir die toepassing. Die geskrewe tekste in 'n netwerkgebaseerde model sal dus die volgende cienskappe hê:

- die hulpbronne wees wat vereis word deur die gebeurtenisse in die geskrewe teks;
- mense wat rolle het om in die gebeurtenisse van die geskrewe teks te speel;
- daar sal aan voorwaardes (ingangsvoorwaardes) voldoen moet word voordat die gebeurtenisse vervat in die geskrewe teks verrig kan word. Die geskrewe teks sal in werking gestel kan word eers wanneer daar aan dié voorwaardes voldoen is;
- gebeurtenisse ('n gebeurtenisvolgorde) moet verrig word wanneer 'n bepaalde geskrewe teks ingeroep word;
- die uittreevoorwaardes waaraan voldoen moet word voordat die gebeurtenisvolgorde beëindig kan word; en
- die "doel" van die geskrewe teks. Dit behels 'n beskrywing van die resultate wat sal intree nadat die geskrewe teks se gebeurtenisvolgorde volledig deurloop is.

'n Voorbeeld van 'n geskrewe teks vir die gebeurtenisvolgorde van 'n in situ-betonblad-en-balkstelsel (eerste verdieping) word in figuur 4 uitgebeeld. By so 'n ekspertstelsel kan beide voorwaartse en terugwaartse denke gebruik word. 'n Bourekenaar sal byvoorbeeld dikwels voorwaartse denke gebruik om risiko's

voortspruitend uit stappe en simptome in die projek te voorspel. Terugwaartse denke stel die bourekenaar weer in staat om 'n risiko of voorwaarde wat moontlik reeds teenwoordig is, in te voer en om bevestiging van die teenwoordigheid van dié risiko of toestand te probeer verkry.

Database van projekte

Daar word in die vooruitsig gestel dat dié database al die dokumentasie van voltooide projekte sal bevat. Meer spesifiek: gegewens soos die gehaltepesifikasie van die projek, tersaaklike ontwerpinstigting, die konstruksiemetode, die operasionele volgorde, die totale koste en die duur van die projek sal in die database bewaar word. Dié gegewens, asook klassifikasie-inligting, sal die ekspertstelsel help om nuwe projekte by "soortgelyke" vorige projekte te pas.

Sodanige gegewens sal daarbenewens die grondslag verskat waarop die verstekdatabasis gebruik kan word vir die aanvanklike bepaling van hulpbrongebruik, tyd en koste.

Database van netwerke

Die beoogde netwerkgebaseerde modelleringsbenadering sal nou oorweeg word. Aangesien die projek deur die bourekenaar beskryf word, help die stelsel die gebruiker met die keuse of skep van 'n tipologie van konstruksieboë vir daardie tipe projek uit 'n hele reeks boë vir verskillende bou-elemente. Elke boog word ten volle deur 'n geskrewe teks en/of 'n raamwerk gespesifieer. Die stelsel sal die gebruiker dan help om 'n gesukkite netwerk (op 'n uitvoeriger vlak) uit 'n reeks relevante netwerke te kies om elke spesifieke boog te vervang. "Skelet"-netwerke kan aangepas word vir die spesifieke projek wat

Name van geskrewe teks	Giet van betonblad-en-balkstelsel
Hulpbronne	Betonmengers, gewapende beton, werkers en operateurs
Rolle	Terreinvoorman, voertuigdrywers, werkers, betonleveransier, strukturingenieur
Ingangsvoorwaardes	Steunkolomme gegiet, nabehandel en gestroop; blad-en-balkvormwerk in posisie; staalwapening in posisie en goedgekeur deur ingenieur; diensleidings in posisie, betonaflewering bevestig deur leveransier; en gunstige weervoorspellings
Gebeurtenisvolgorde	: INDIEN dit reën, DAN kansellering van dié gebeurtenis : bevestiging van aflewering : voorbereiding van terrein om toegang te verseker : bymekarkry van werkers : skedulering van die tou wat deur afleweringsoertuie gevorm word : toesig oor gietwerk deur werkers : giet van beton : afvlakkings en nabehandeling van blad
Uitgangsvorwaardes	Afvlakkings en nabehandeling van blad voltooi; betontoetskubusse geneem; ingenieur tevreden met uitslag; afleweringsbriewe aanvaar deur voorman
Resultate	Die betonblad-en-balkstelsel van eerste verdieping in posisie en gebind; vormwerk kan gestroop word en daar kan met baksteenwerk begin word

FIGUUR 4: 'n Voorbeeld van geskreweteks-gebaseerde kennisvoorstelling.

oorweeg word. Dié skelet-netwerke sal die tipiese gebeurtenisse, hulpbronne en afhanklikhede wat vir daardie komponent van die projek vereis word, bevat. Afsonderlike skelet-netwerke sal byvoorbeeld bestaan vir die voorbereiding van die terrein, heiwerk, die lê van fondasies en grondverdiepingkonstruksie. Deur die hele konsultasieproses heen word dié skelet-netwerke dan deur die ekspertstelsel gekonsolideer in 'n enkele netwerk vir die hele projek.

In die vroeë ontwerpfases sal pogings om 'n uitvoerige KPM/PERT-netwerk op te stel moontlik nie geregverdig wees nie; dit is gewoonlik ook nie moontlik nie. Die ekspertstelsel sal 'n stel "profielvorm"-netwerke waartoe toegang verkry kan word en wat by die individuele projek aangepas kan word, insluit. 'n Rowwe netwerkskelet kan vir gebruik deur die bourekenaar "afgetrek" word. Dit kan óf deur die ekspertstelsel self gedoen word óf spesifiek deur die bourekenaar aangevra word. Die keuse van 'n tersaaklike profielvorm-netwerk deur die ekspertstelsel vereis die vermoë om die bourekenaar se projekbeskrywing by dié van die gestoorde profielvorme te pas. Die ekspertstelsel sal die bourekenaar aanpor om die gegewens te verstrek wat die stelsel nodig het om so 'n keuse uit te oefen.

Die hantering van 'n hiërargie of poel profielvormnetwerke is wesenlik 'n databestuurskwestie. Die beoogde modelleringstelsel sal dié tegnologie moet insluit en die "intelligente" aspekte van ekspertstelsels moet benut as metodes om netwerke by situasies te pas. Die uitvoerbaarheid van so 'n aanwending is deur Larsson en Persson³⁵ gedemonstreer met hul rekenaargesteunde werk aan 'n "bevelspioen" om die handelinge van 'n gebruiker dop te hou.

Hoofparameters

'n "Lêer" van hoofparameters word in baie gerekenariseerde aanwendings gebruik. By gebouontwerp-evaluering kan dit gegewens soos die inflasiekous en die sikliese beskikbaarheid van materiaal en arbeid insluit. Die algemene parameters "lêer" kan reëls asook data insluit. Daar kan 'n fasilitet vir "verspreide" reëls of 'n hiërargies geordende reëlbasis wees. Dit sal beteken dat die inroeping van hoofparameters om die impak van (sé) heersende ekonomiese toestande in te sluit, nie tot eenvoudige feitelike of empiriese gegewens beperk sal word nie. Die "model" van hoofparameters sal self 'n ekspertstelsel met reëls en kennis wees.

Die stelsel kan nou as 'n reeks klein modelle, wat elk 'n segment van 'n ten volle geïntegreerde stelsel bydra, beskou word. Die stelsel sal vir die konsolidering van die tersaaklike stukke verantwoordelik wees deur die omstandighede te evalueer en die beste stel modules vir 'n spesifieke situasie te kies. Die konsep wat hier geskets word, is reeds goed in rekenaarstelsels beproef. Dit word dikwels die "biblioekstelsel" genoem en bied 'n stel roetines of procedures met algemene doelstellings vir gebruik in spesifieke omstandighede. Die ekspertstelsel word so 'n biblioteek, met talle potensiële outeurs wat modules, gedeeltes, procedures of stelle reëls bydra om verskillende toestande te dek. 'n Deskundige oor die beperking van energieverlies kan byvoorbeeld 'n stel reëls tot die biblioteek bydra wat in die algemene ontwerp van die verhittings- en verkoelingssubstelsels gebruik kan word. Die ekspertstelsel behou steeds die taak om 'n situasie wat deur die bourekenaar beskryf is, by 'n "soortgelyke" versameling reëls, gegewens en of netwerke wat binne die ekspertstelsel gestoor word, te pas.

Op grond van dié organisering van die "lêer" van hoofparameters word dit moontlik om dié "lêer" as 'n stel reëls te beskou wat aan die hand van die konteks gekies moet word en in die algemene konstruksie van die volledige stelsel ingepas moet word.

Gebruikers-koppelvlak

Die gebruikers-koppelvlak word as 'n baie belangrike aspek van die stelsel beskou. Dit geld veral vir die afvoervertoning, aangesien dit grotendeels sal bepaal of die gebruiker die stelsel verstaan. Hoe meer eksplisiet die afvoer, hoe beter sal die gebruiker die stelsel verstaan. Die generering van groot hoeveelhede numeriese gegewens behoort opsioneel te wees, hoewel dit in sekere omstandighede onvermydelik is. Die klem is op doeltreffende afvoervertoning sonder dat die inligtingsbehoeftes van die gebruiker afgeskeep word. Gebruikersbegrip kan bevorder word deur die gebruik van grafiese, kleur, driedimensionele stipwerk, histogramme en segmentkaarte.

In die lig van die noodsaak dat die modelleringsproses logies deurskynend en eksplisiet in sy veronderstelling moet wees, word die verduidelikingsfasilitate as van besondere belang beskou. Dié fasilitet moet met die vlak van sofistikasie van die gebruiker ooreenstem en terminologie gebruik waarmee die gebruiker vertrouyd is.

Daar word voorgestel dat 'n evalueringstelsel wat van 'n doel terug kan beweeg, oorweeg moet word, dit wil sê *doelwit-bevrediging*. Dié voorstel is gebaseer op die beskrywing van "opiniehersiening" aangebied deur Stefik et al.³⁶ Die bourekenaar kan byvoorbeeld in kennis gestel word dat die kliënt R15 000 000,00 beskikbaar het vir die bouprojek en graag wil weet wat vir dié bedrag verkry kan word. Die modelleringsstelsel kan dan die volgende aksies oorweeg:

- Die kliënt se doelwit is om nie meer as R15 miljoen te bestee nie.
- Uit die database van projekte kan die beskikbare geld by benadering onderverdeel word gebaseer op "soortgelyke" projekte waarvan die rekord in gemelde database gestoor word.
- Subdoelwitte met betrekking tot gehaltepesifikasie, duur en/of koste word vir elke bou-element gestel.
- 'n Poging word deur die stelsel aangewend om dié subdoelwitte op stelselmatige wyse te bevredig, en die bourekenaar word om ontbrekende of onvolledige gegewens gevra, na gelang hulle nodig word.
- Die bourekenaar kan dan die argitek en kliënt medeel wat hul opsigte is binne die parameters van die mate waarin gemelde subdoelwitte verwesenlik word.
- Ingeval die subdoelwitte nie bereikbaar is nie, kan die bourekenaar die rede vra en daardeur bewus word van die struikelblokke wat verhinder dat die ekspertstelsel goed werk.
- Moontlike remediërende aksie kan aanbeveel word, saam met die tersaaklike koste-/tydsgevolge.

Dié voorbeeld van doelwitbevrediging is gebaseer op 'n finansiële doelwit. Doelwitte kan in die praktyk egter ook in terme van gehaltepesifikasies of voltooiingstyd uitgedruk word.

Die kwessies betrokke in die *validering* van 'n ekspertstelsel word elders beskryf (byvoorbeeld Gaschnig et al.³⁷). Vorige pogings om die geldigheid van ekspertstelsels in bouontwerp-evaluering te valideer (byvoorbeeld Brandon et al.³⁸) het gekonsentreer op die raming van die mate van goedkeuring wat deskundiges verleen aan die oplossing wat deur die ekspertstelsel voorgestel word. 'n Nuttige, bykomende benadering kan moontlik wees om die ontwerpfasie van 'n reeds voltooide projek te herloop. Stelselafvoeradvies kan dan met werklike resultate vergelyk word. Die basiese stappe in so 'n valideringsprocedure sal wees:

- die seleksie van 'n voltooide, goed gedokumenteerde projek;
- die invoer van die data op ontwerpsvlak vir die voltooide projek in die modelleringsstelsel; en

- die vergelyking van die advies oor koste, tyd en risikoontleding van die modelleringstelsel met die gedokumenteerde resultate van die werklike projek.

Dié benadering tot validering wil verseker dat 'n stelsel wat in die praktyk werk, ook in die teorie van toepassing sal wees. Dié valideringstegniek sal ook moet evalueer in welke mate die aanvanklike sketsontwerp(e) en die finale bouproduk ooreenstem.

SLOTSOM

Die motivering vir hierdie verhandeling behels en voorsien die konseptuele raamwerk vir 'n voorgestelde kostemodelstelsel wat die doeltreffende kommunikasie van bouprysboodskappe sal verhoog. Met inagneming van die inherente afwesigheid van kousaliteit en logiese deursigtigheid van tradisionele prysmodelle, word daar voorgestel dat die insluiting van kundigheid van die bou-aannemer ten opsigte van bouplanmetodes in die prys-/kosteberaming die potensiaal het om die intrapersoonlike kommunikasieproses wat daarmee gepaardgaan, te verhoog, en dus ook van bouprysboodskappe.

Daar word aangevoer dat ekspertstelseltegnologie 'n gunstige klimaat skep om die gesukte gespesialiseerde kundigheid toeganklik te maak. Navorsing in verband met die toepassing van ekspertstelsels op boupryskostemodelle word hersien en krities geëvalueer. Die sintese van netwerkgebaseerde modelle en deskundige stelsels word voorgestel en 'n konseptuele raamwerk vir 'n netwerkgebaseerde kostemodelstelsel word aanbeveel. Hierdie konseptuele raamwerk waarin gebruik gemaak word van teksgebaseerde kennisvoorstelling, word aangebied as 'n voorgestelde rigting vir toekomstige navorsing.

Die voorgestelde modelleringstelsel word beskou as dinamies en betreklik buigbaar en die toepassing daarvan meer gesik vir proaktiewe prysadvies as die tradisionele modelle. Met inagneming dat die stelsel verband sal hou met die konstruksiebeplanningproses, die waarskynlikheidskontekstuele afhangheidsdata benut, stogasties kwalifiserende produksie lewer en eksplisiete veronderstelling en logika genereer, word die potensiaal daarvan as 'n besluithulp en 'n voertuig vir die beraming en kommunikasie van ontwerp-koste-implikasies voorgestaan. Daar word tot die gevolgtrekking gekom dat die belangrikste hydrae verbonde aan die konseptuele model, die waarneembare potensiaal is om die ineenlopende aard van die intrapersoonlike kommunikasieproses aan te help. Die voorgestelde konseptuele raamwerk maak voorsiening vir die proaktiewe en sinvolle rol van die bourekenaar in die verskaffing van prysboodskappe.

SUMMARY

The pricing on construction projects necessitates the conversion of design decisions into construction resource implications. The conversion process is conducted through the medium of construction planning. Current construction planning practice relies heavily on the manual formulation of plans. The planning activity is usually performed in an intuitive and unstructured fashion, with considerable reliance being placed on judgement and experience not normally available during the pre-tender phase.

Developments in the field of artificial intelligence in general, and expert systems in particular, have made it possible for human expertise to be captured and structured to replicate the planning process, suggesting that the technology already exists for the task. Expert systems provide a means of externalising

the thought processes of experts in such a manner that quantity surveyors can utilise the knowledge contained therein to supplement their own intrapersonal communication processes. Research in the development of automated plan generation systems suggests a means for accessing construction planning expertise during the pre-tender phase for the provision of design-to-cost advice.

A network-based approach to cost modelling, utilising an expert system environment and script-based knowledge representation, is perceived to constitute a suitable vehicle for the provision of design-to-cost advice and is suggested as a future research direction. Such a system, in contrast to the models traditionally utilised by quantity surveyors, would be capable of reflecting the manner in which construction costs are generated.

The proposed conceptual cost modelling system framework is considered to possess the potential to be an improvement on traditional price models in terms of its ability to enhance the intrapersonal communication process associated with provision of price messages. More specifically, the potential benefits to be derived from the proposed conceptual framework are that it would:

- Incorporate the construction planning process at a stage of design when such expertise is not normally available to the design team.
- Provide a direct link between design and construction by enabling the cost/time implications of a design solution on the construction process to be identified and understood.
- Provide a vehicle for knowledge refinement and the attainment of greater understanding on the part of the quantity surveyor.
- Provide a means of accessing the thought processes of experts in such a manner that users could utilise that knowledge to supplement their own intrapersonal communication processes.
- Provide a reference framework ("mind model") to be augmented by the expertise of individual practitioners.

Finally, the improvement in the quality of the intrapersonal communication process considered to result from the application of the conceptual framework should produce an improvement in the interpersonal process of communicating price messages. This, in turn, should facilitate the greater attainment of shared meaning and more effective communication between the quantity surveyor and users of building price advice.

LITERATUURVERWYSINGS

1. Gray, C. (1986). "Intelligent" construction time and cost analysis, *Construction Management and Economics*, vol. 4, 135-150.
2. Cornick, T., Bowen, J. (1986). A knowledge-based "expert system" for brickwork cladding design and production. Proceedings of the C.I.B. 10th Triennial Congress *Advancing Building Technology*, Washington, September, vol. 2, 659-666.
3. Vines, M., Walker, D.H.T. (1992). Developing a knowledge based expert system "CRABES" for brickwork fault diagnosis. Proceedings of the Second Annual Conference on *Inspection, Appraisal, Repairs and Maintenance of Buildings and Structures*, Jakarta, September.
4. Howes, R. (1992). "POEM" *Project Management, Cost Control and Reporting System*. User Manual (E.C. Harris, London).
5. Brandon, P.S., Basden, A., Hamilton, I.W. en Stockley, J.E. (1988). *Expert Systems: The Strategic Planning of Construction Projects* (Royal Institution of Chartered Surveyors, London).
6. Trimble, G., Bryman, A., Cullen, J. (1986). Knowledge acquisition for expert systems in construction. Proceedings of the C.I.B. 10th Triennial Congress *Advancing Building Technology*, Washington,

- September, vol. 2, 770-777.
7. Kelly, J.R. (1987). Simulation models as generators of rules for expert systems. In *Building Cost Modelling and Computers*, P.S. Brandon ed. (E. & F.N. Spon Ltd., London) pp. 453-461.
 8. Allwood, R.J., Stewart, D.J., Hinde, C., Negus, B. (1985). *Evaluation of Expert System Shells for Construction Industry Applications*. Report, Department of Civil Engineering, Loughborough University of Technology, Loughborough.
 9. Bennett, J., Ormerod, R.N. (1984). Simulation applied to construction projects, *Construction Management and Economics*, vol. 2, 225-263.
 10. Thompson, P.A., Willmer, G. (1985). "CASPAR" - A program for engineering project appraisal and management. Proceedings of the 2nd International Conference on *Civil and Structural Engineering Computing*, London, December, vol. 1, 75-81.
 11. Bowen, P.A. (1993). *A communication-based approach to price modelling and price forecasting in the design phase of the traditional building procurement process in South Africa*. Unpublished Ph.D. Thesis, Department of Quantity Surveying, University of Port Elizabeth, Port Elizabeth.
 12. Marston, V.K., Skitmore, R.M. (1990). Automatic resource based cost-time forecasts, *Transactions*, American Association of Cost Engineers, M.6.I-M.6.6.
 13. Hendrickson, C., Zozaya-Gorostiza, C., Rehark, D., Baracco-Miller, E. (1987). Expert system for construction planning, *Journal of Computing in Civil Engineering*, American Society of Civil Engineers, vol. 1, no. 4, 253-269.
 14. Newell, A., Simon, H. (1972). *Human Problem Solving* (Prentice Hall, New York).
 15. Sacerdoti, E. (1975). A Structure for Plans and Behaviour, *Technical Report No. 109*, SRI Institute.
 16. Nilsson, N.J. (1980). *Principles of Artificial Intelligence* (Tioga Publishing Company, Palo Alto).
 17. Formoso, C.T. (1991). *A Knowledge Based Framework for Planning House Building Projects*. Unpublished Ph.D. Thesis, Department of Surveying, University of Salford, Salford.
 18. Levitt, R.E., Kunz, J.C. (1985). Using knowledge of construction and project management for automated schedule updating, *Project Management*, vol. 16, no. 5, 57-76.
 19. Ibbs, C.W., De La Garza, J.M. (1988). Knowledge engineering for a construction scheduling analysis system. In *Expert Systems in Construction and Structural Engineering*, Adeli, H. ed. (Chapman and Hall, London) pp. 137-159.
 20. Navinchandra, D., Sriram, D., Logcher, R.D. (1988). "GHOST": Project network generator, *Journal of Computing in Civil Engineering*, American Society of Civil Engineers, vol. 2, no. 3, 239-254.
 21. Alshawi, M., Jaggar, D. (1989). An expert system to assist in the generation and scheduling of construction activities. Proceedings of the *AI Civil-Comp*, London, September.
 22. Bowen, P.A., Erwin, G.J. (1989). Expert systems in building design evaluation, *South African Journal of Science*, vol. 85, no. 4, 251-257.
 23. Silverman, B.G., Moustakis, V.S. (1987). Expert system issues in 'Innovator': representations and heuristics. In *Expert Systems in Business*, Silverman, B.G. ed. (Addison-Wesley, Reading, Massachusetts) pp. 402-439.
 24. Moselhi, O., Nicholas, M.J. (1990). Hybrid expert system for construction planning and scheduling, *Journal of Construction Engineering and Management*, American Society of Civil Engineers, vol. 116, no. 2, 221-238.
 25. Boussabaine, A. (1991). *An Expert System Prototype for Construction Planning and Productivity Analysis*. Unpublished Ph.D. Thesis, Department of Building Engineering, University of Manchester Institute for Science and Technology, Manchester.
 26. Allwood, R.J. (1986). Using expert system shells, *International Journal of Construction Management and Technology*, vol. 1, no. 3, 23-36.
 27. Allwood, R.J. (1989). *Techniques and Application of Expert Systems in the Construction Industry* (Ellis Horwood, Chichester).
 28. Allwood, R.J. et al. (1987). Some experiences from evaluating expert system shell programs and some potential applications. Proceedings of the International Conference *Application of Artificial Intelligence Techniques to Civil and Structural Engineering*, London, 1-6.
 29. Creative Logic Ltd. (1989). *Leonardo User Guide* (Creative Logic Ltd., Uxbridge).
 30. Schank, R.C., Abelson, R.P. (1977). *Scripts, Plans, Goals and Understanding: An Inquiry into Human Knowledge Structures* (Lawrence Erlbaum Associates, Hillsdale, New Jersey).
 31. Schank, R.C., Riesbeck, C.K. (eds.) (1981). *Inside Computer Understanding: Five programs plus miniatures* (Lawrence Erlbaum Associates, Hillsdale, New Jersey).
 32. Waterman, D.A. (1986). *A Guide to Expert Systems* (Addison-Wesley, Reading, Massachusetts).
 33. Bowen, P.A., Erwin, G.J. (1994). Describing the building procurement process using script-based knowledge representation, *South African Journal of Science*, 90, 543-546.
 34. Niwa, K. (1986). A knowledge-based human computer co-operative system for ill-structured management domains, *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, SMC-16, no. 3, May/June, 335-342.
 35. Larsson, J.E., Persson, P. (1986). Knowledge representation by scripts in an expert interface. *Proceedings of the American Control Conference*, 1159-1162.
 36. Stefik, M., Aikins, J., Balzer, R., Benoit, J., Birnbaum, L., Hayes-Roth, F., Sacerdoti, E. (1983). Basic concepts for building expert systems. In *Building Expert Systems*, Hayes-Roth, F., Waterman, D.A., Lenat, D. eds. (Addison-Wesley, Reading, Massachusetts) pp. 59-86.
 37. Gaschnig, J., Klahr, P., Pople, H., Shortliffe, E., Terry, A. (1983). Evaluation of expert systems: issues and case studies. In *Building Expert Systems*, Hayes-Roth, F., Waterman, D.A., Lenat, D. eds. (Addison-Wesley, Reading, Massachusetts) pp. 241-280.