



Sustainable Engineering Concepts and Life Cycle Analysis

Prof. Brajesh Kumar Dubey
Department of Civil Engineering
IIT Kharagpur

-BH9B898'5 I 8-9B79.'CE} ^Áá} c^!^c^áÁ!æ; } ^!^É

DF9!F9E I-G=H9G'KÁÖ} çá! [] { ^} çæ|ÁÜ&á^} &^•ÉÁQ} c! [á~&cá [] Ác [ÁÖ } çá! [] { ^} çæ|ÁÖ } *á^ Á!á } *

-B8 IGHF=9G'5DD@=75 6@9'HCÁKÁ|á•cÁ [-Á& [{] æ} á^•Dá } á~•c!^Ác@æcÁ , á|!Á!^& [* } á: ^Dçæ| ^Ác@á^Á [] |á } ^Á& [!•^ÉÁŠæ!•^ } Á } áÁV~!á [ÉÁVæcæÁÖ! [~] Á [-ÁQ } á~•c!á^•É

7C I FG9' C I H@-B9'.

V@á^Á& [~!•^Á , á|!á } c! [á~&^Á•c^ á^}•cÁc [Ác@^Á- } áæ { ^} çæ|Á& [] &^} c•Á!^æc^áÁc [Áá } c^!æ&cá [] Á [-Áá } á~•c!áæ|Áæ } áÁ^ } çá! [] { ^} çæ|D V@á^Á& [~!•^Á , á|!á } c! [á~&^Á•c^ á^}•cÁc [Ác@^Á- } áæ { ^} çæ|Á& [] &^} c•Á!^æc^áÁc [Áá } c^!æ&cá [] Á [-Áá } á~•c!áæ|Áæ } áÁ^ } çá! [] { ^} çæ|D ^& [[[*á&æ|Á•^•c^ } •ÉÁ•~•cæá } æá|áç^Á&æ|!^ } *^Á•^æ&á } *Ác@^Á& [!] c^!^Á } ^!æcá [] ÉÁæ } áÁ•^•c^ } •Éáæ•^áÁæ }] ; [çæ@^Á!^~ á!^áÁc [Á &|^æc^Á•^•cæá } æá|Á^• [] [~] çá [] •Á- [!Á• [&á^c^ÉÁÜc^ á^}•cÁ , á|!á } á!^•cæ } áÁc@^Á& [] &^} c•Áæ } áÁc@^Á&á^} çá-á&Á [^c@ [áÁæ•Ááçæ }] |á^•Ác [Á æá•^•c^ } •Éáæ•^áÁc } •Éáá&á] |á } æ!^Áæ }] ; [çæ@Ác [Á•^•cæá } æá|áç^ÉÁæ } áÁ , á|!á^Á!] ^!æ!^áÁc [Áá^ } çá-Á] ; [á!^ } •Áá } Á•^•cæá } æá|áç^Á } æ } áÁ- [!] [~] çæ|Áæ }] ; [!] áæc^Á• [] [~] çá [] •Áææ•^áÁ [] Á&á^} çá-á&Á!^•æ!&@ÉÁæ }] |á^áÁ&á^} &^ÉÁ• [&áæ|Áæ } áÁ^& [] [{ á&Áá•~^•c!ÁV@^Á } áæ•á&Á& [] &^} c•Á [-Á|á-^Á&~&|^Áæ••••• { ^} çÁÇŠÓCEDÁ , á|!á^Ááá&•••••áÉÁæ [] *Á , ác@Á|á-^Á&~&|^Áá } ç^! c [!] ^ÁÇŠÓQDæ } áÁ|á-^Á&~&|^Á } á }] çæ&cáæ••••• { ^} çÁÇŠÓQCEDÁ } &|~áá } *Ác@^Á• [&áæ|Áæ } áÁ^& [] [{ á&Ááá { ^} •á [] •ÉÁV@^Áæ }] |á&cá [] Á [-Á|á-^Á&~&|^Áæ••••• { ^} çÁ [^c@ [á [[*^Á•~•á } *Áæ }] ; [!] áæc^Á&æ•^Á•c^ áá^•Á , á|!á^Á!] ^!•^•c^Á^É

56C I H'=BGHF I 7HCF'.

Ú! [-ÉÁÖ!æ!•@ÁŠ!ÉÁÖ~á^Á@æ•á@ááæ&@^! [!•áá^*!^Áá } ÁÖçá|ÁÖ } *á } ^!á! } *ÁÇP [] •DÁ- [[{ ÁQ } ááæ } ÁQ } •cáç•c^Á [-ÁV^&@] [[[*^ÁÇQVÁ S@æ!æ*] ^!ÉÁQ } ááæ } áÁÜ@ÖÁá } ÁÖ } çá! [] { ^} çæ|ÁÖ } *á } ^!á! } *ÁÜ&á^} &^•ÉÁW } áç^!•áç^Á [-ÁØ] [!ááæÉÁÖæá } ^•çá|!^ÁÖ] [!ááæÁWÜCEÉÁP^Áá•Á] ^!•^•c^ } ^!ÉC•• [&áæc^ÁÁÜ! [-Á••• [!ÁQ] c^!æc^ÁÁY æc^ÁÁ Tæ } æ*^ { ^} çÁæ } áÁÜ~•cæá } æá|ÁÖ } *á } ^!á! } *DÁá } Ác@^ÁÁÖçá } á [] Á [-Á Ö } çá! [] { ^} çæ|ÁÖ } *á } ^!á! } *Áæ } áÁ Tæ } æ*^ { ^} çÁæc^ÁQ } ááæ } ÁQ } •cáç•c^Á [-ÁV^&@] [[[*^ÁÇQVDEÁ S@æ!æ*] ^!ÉÁQ } ááæÉÁÖ!ÉÁÖ~á^Á@æ•Á { [!Ác@æ } ÁF!Á^!æ!•Á [-Á!-^!æ!&@ÉÁc^æ&@á } *ÉÁc!æá } á } *Áæ } áÁá } á~•c!áæ|Á [~] c!^æ&@Á^ç [] ^!á^ } &^Áá } Ác@^Ááæ!^æ•Á [-ÁQ] c^!æc^ÁÁÜ [!ááæ } áÁPæ: æ!á [~] •ÁY æc^ÁÁ Tæ } æ*^ { ^} çÉÁæ } áÁÜ~•cæá } æá|ÁÖ } *á } ^!á! } *Áæ } áÁCE [] |á&cá [] Á [-ÁŠá-^ÁÖ~&|^ÁCE••••• { ^} çÁ c^!&@ } á~•c!ÉÁP^Áæ! [Á , [!] •Áá } Ác@^Ááæ!^æá [-ÁŠá-^ÁÖ~&|^ÁCE } æ!~•á } áá } áÁÜ~•cæá } æá|ÁÖ } *á } ^!á! } *ÉÁP^Á@æ•Áá^ } Ác@æ&@á } *Á & [!] •^•Áá } Ác@^Ááæ!^æá [-ÁÜ [!ááY æc^ÁÁ Tæ } æ*^ { ^} çÉÁPæ: æ!á [~] •ÁY æc^ÁÁ Tæ } æ*^ { ^} çÉÁŠá-^ÁÖ~&|^ÁCE } æ!~•á } áá } áÁ Ö } çá! [] { ^} çæ|ÁÜá~^ÁCE••••• { ^} çÁæ [] { *Á [c@^!á& [~] •^•Á- [!Á } ^æ!~!ááá^æáÉÁP^Á@æ•Ááæ } *c^!æc^Ác^!æ|Á~ } áç^!•áç^Áá } ÁWÜCEÉÁ Öæ } æááæÉÁP^ , ÁZ^ææ } áÉÁÖ@á } æáæ } áQ } ááæÉÁP^Á@æ•Áá } [Á& [] á~&c^Ááçæá } á } *Á] ; [!] áæ { •Áá } Ác@^ÁQ } c^!æc^ÁÁY æc^ÁÁ Tæ } æ*^ { ^} çÁ æ!^æ•Áá } &|~áá } *Ác@æc^Á [!ÁÖ!^c! [] á&•ÁY æc^ÁÉÁÖ!ÉÁÖ~á^Á@æ•Áá } c@ [!] á&@ [ÉÁæ } c@ [!] á& [[!] Ác@æ } ÁG€€] ~!á&cá [] •Áá } Á@ááæ!^æá [-Á^ç] ^!c!^Áæ } áÁáæç^Á!] ^!•^•c^Á } c^!ááæc^Á^ç^!æ|á } æcá [] æ|Á& [] áá } c^! } æcá [] æ|Á& [] ^!^•c^Á } &^•ÉÁP^Á@æ•Áá , [!] áááæ•ÁY æc^ÁÁ Tæ } æ*^ { ^} çÁÖç] ^!c^!] ÁWÜÁæ*^ } &á^Áæ } áÁY [!] áÁÖæ }] É

7C I FG9'D@5B'.

KYY_%^ÁCE}ÁQ} c! [á~&cá [] Ác [ÁÜ~•cæá } æá|áç^ÁÖ [] &^} c•Áæ } áÁŠá-^ÁÖ~&|^ÁCE } æ!~•á } ÁÇQ } c! [á~&cá [] ÉÁ Tæc^!æ|Á- [, Áæ } áÁ , æc^ÁÁ { æ } æ*^ { ^} cÉÁY @æc^Ááçæ|Á [^æ } Á- [!Áæ } Á^ } *á } ^!^ÁY æc^ÁÁ^!^•^Áæ } áÁ- [[áÁ] ^ç••D

KYY_&^ÁÜá~^Áæ } áÁŠá-^ÁÖ~&|^ÁÖ } çá! [] { ^ , [!] Á- [!ÁÜ~•cæá } æá|áç^ÁÇQ } c! [á~&cá [] ÉÁÜá~^ÁÖ } çá! [] { ^} çæ|ÁÜá~^ÁCE•••••É { ^} cÉÁ Öçæ [] |ÁÖ@^ } á&æ|Áæ } áÁP^Áçc@ÁÖ~^Ác^ÉÁÖ@æ!æc^ÁÁ [-ÁÖ } çá! [] { ^} çæ|ÁÜ! [á!^ } •D

KYY_'^.ÁÖ } çá! [] { ^} çæ|ÁÖæcæÁÖ [] |^çá [] Áæ } áÁŠÓCEÁ T^c@ [á [[[*^ÁÇÖ } çá! [] { ^} çæ|ÁÖæcæÁÖ [] |^çá [] ÁQ••~^•ÉÁÜcæÉcá } çá&æ|Á CE } æ!~•á } Á [-ÁÖ } çá! [] { ^} çæ|ÁÖæcæÁÖ [] { [] ÁCE } æ!~•cá&æ|ÁQ } •c!~ { ^} cÉÁÜÇ^!çá^ , Á [-ÁŠÓCEÁ T^c@ [á [[[*^ÁÉÁÖ } æ|ÁÖ~á } áçá [] ÉÁŠá-^Á Ö~&|^ÁQ } ç^! c [!] ÉÁŠá-^ÁÖ~&|^ÁQ }] æ&c^ÁCE••••• { ^} cÉÁŠá-^ÁÖ~&|^ÁQ } c^!] ^!cæcá [] ÉÁŠÓCEÁÜ [-c , æ!^Ác [] |•D

KYY_(^ÁŠá-^ÁÖ~&|^ÁCE••••• { ^} çÁ . ÁÖ^ææ|Áá T^c@ [á [[[*^Áæ } áÁQÜÜÁØ!æ { ^ , [!] ÁÇÖ^ææ|ÁáÖÖçæ [] |^Á [] ÁŠÓCEÁÖ []] æ!á• [] •ÉÁ ŠÓCEÁÖ^ } ^áç•Áæ } áÁÖ!æ , áæ& \ÉÁPá•c [!á&æ|ÁÖ^ç^! [] { ^} çÁæ } áÁŠÓCEÁÜc^•Á- [[[ÁQÜÜÁØ!æ { ^ , [!] ^D

KYY_)^ÁŠá-^ÁÖ~&|^ÁQ } ç^! c [!] ^Áæ } áÁQ }] æ&c^ÁCE••••• { ^} c^ÁÇW } áçÁÜ! [&^•••••Áæ } áÁÜ~•c^ } ÁÖ [~] áæ!~^ÁÖæcæÁÜ~æ|Éc^ÉÁÜ! [&^Á~!^Á - [!ÁŠá-^ÁÖ~&|^ÁQ }] æ&c^ÁCE••••• { ^} cÉÁŠÓQCEÁ } ÁÜ!æ&cá&Á , áç@ÁÖçæ [] |^•ÉÁQ } c^!] ^!cæcá [] Á [-ÁŠÓQCEÁ

Ü^•~|c•D

KYY_*^ÁØæ&c!^!Á- [!ÁÖ [[áÁŠÓCEÁÜc~á~ÁÇQÜÜÁV^!] á } [[[*^Á^ÉÁŠÓCEÁÜc^•ÁÜ^&æ } ÉÁÖ@^ } á&æ|ÁÜ^!^æ•^Áæ } áÁØæc^Áæ } áÁ V!æ••] [!] cÉÁæ } áÁÖ!^!ÁÜ~•cæá } æá|Á Tæc^!áæ!•D

KYY_+^Á Ö^•á } Á - [!Á Ü~•cæá } æá|áç^Á Ö } çá! [] { ^} çæ|Á Ö^•á } Á - [!Á Ü~•cæá } æá|áç^Á Ö& [] [{ á&ÉÁ Ö } çá! [] { ^} çæ|ÁQ } ááE&æc [!] ÉÁÜ [&æ|ÁÜ^!- [!] { æ } &^ÁQ } áá&æc [!] ÉÁÜ~•cæá } æá|ÁÖ } *á } ^!á! } *ÁÖ^•á } ÁÜ!á } á } |^Áæ } áÁÖ } çá! [] { ^} çæ|Á Ö [•c^ÁCE } æ!~•á•D

KYY_ , ÁÖæ•^ÁÜc~áá^ÁÇ^É•ÉÁÜá~!ÁÜ^ [[çæ|Á- [!ÁÜ!~æ } á&^ÁV!^æc { ^} çÁÜæ } cÉÁÖ []] æ!á• [] Á [-ÁPæ } áÁÖ!~á } *Á T^c@ [á~ÉÁ Öá [-^!Á- [!ÁV!æ } •] [!] cæcá [] ÉÁŠ! [•^•Á } ÁŠæ }] ÁÇ•ÉÁÜ [!] ÉÁÖá [] |áç•cá&Á^c&ÉDE