

ECCS
CECM
EKS



Funded by
the European Union

DOPORUČENÍ PRO OPĚTOVNÉ POUŽITÍ OCELOVÝCH KONSTRUKCÍ

— Část 1: Stávající prvky a konstrukce —

Technická komise 14
Udržitelnost a ekologická efektivita ocelových konstrukcí
v rámci evropského projektu ADVANCE

ADV1-CZ | 2025



ECCS TC14

Udržitelnost a ekologičnost ocelových konstrukcí

Doporučení pro opětovné využití ocelových konstrukcí

Část 1: Stávající prvky a konstrukce

2. vydání, 2025



Doporučení pro opětovné využití ocelových konstrukcí

Část 1: Stávající prvky a konstrukce

No 146, ADV1-CZ, 2. vydání, 2025

Vydavatel

ECCS – European Convention for Constructional Steelwork
publications@steelconstruct.com
www.eccspublications.eu

Všechna práva vyhrazena. Žádná část této publikace nesmí být reprodukována, uložena v systému pro vyhledávání nebo přenášena v jakékoli formě nebo jakýmkoli způsobem, elektronicky, mechanicky, kopírováním, nahráváním nebo jinak, bez předchozího souhlasu vlastníka autorských práv.

ECCS nepřebírá žádnou odpovědnost za využití materiálů a informací obsažených v této publikaci.

Copyright © 2025 ECCS

European Convention for Constructional Steelwork

Z originální verze přeložili:

František Wald (strany 1-50 a kompletace dokumentu)
Břetislav Židlický (strany 51-109)

ISBN 978-92-9147-210-9

Elektronicky

Přestože byla věnována maximální péče zajištění integrity a kvality této publikace a informací v ní obsažených, projektoví partneři a vydavatel nenesou žádnou odpovědnost za škody na majetku nebo osobách vzniklé v důsledku využití této publikace a informací v ní obsažených.

Reprodukce pro nekomerční účely je povolena za předpokladu, že je uveden zdroj a je o tom informován koordinátor projektu. Veřejná distribuce této publikace prostřednictvím jiných zdrojů než níže uvedených webových stránek vyžaduje předchozí souhlas partnerů projektu.



Práce byla financována Evropskou unií v rámci grantu č. 101112269. Názory a stanoviska vyjádřená v této práci jsou však pouze názory autora (autorů) a nemusí nutně odrážet názory Evropské unie nebo [název poskytovatele grantu]. Evropská unie ani poskytovatel grantu za ně nenesou žádnou odpovědnost.



Financováno
Evropskou unií

Úvodem

Použití recyklovaných ocelových konstrukčních prvků v projektu snižuje dopad budovy na životní prostředí, protože eliminuje energii potřebnou k recyklaci ocelových konstrukcí do nových produktů prostřednictvím tavení materiálu. Výzkumný projekt PROGRESS (Opatření pro větší opětovné využití ocelových konstrukcí) se zaměřil na jednopodlažní ocelové budovy a identifikoval různé scénáře opětovného využití. Ukázal také, jak dobře promyšlená konstrukční opatření mohou usnadnit opětovné využití konstrukce nebo jejích primárních komponentů. Rozsah práce se měl v rámci výzkumného projektu ADVANCE (Doprovodná opatření pro šíření, zhodnocení a společné využívání cirkulárnosti stavebních ocelových výrobků) rozšířit z jednopodlažních na vícepodlažní budovy a další obsah je zahrnut v tomto druhém vydání Doporučení pro opětovné využití recyklovaných ocelových výrobků.

Doporučení prochází klíčové aspekty, které musí projektanti zohlednit, aby usnadnili větší opětovné využití ocelových konstrukcí, a uvádí příklady úspěšného opětovného využití konstrukcí. Doporučení popisují požadavky na opětovné využití, ale nezabývají se podrobně ekonomickou proveditelností ani environmentálními výhodami opětovného využití.

Rozsah opětovného využití konstrukční oceli je omezen na:

- Prvky určené k opětovnému využití nesmí být poškozené, včetně plastických deformací a zmenšených průřezů (např. otvory, trhliny nebo nadměrná koroze).
- Všechny prvky určené k opětovnému využití musí pocházet ze stavební konstrukce postavené z prvků vyrobených v roce 1970 nebo později, což je přibližně doba, kdy se stal běžnou praxí navrhování na mezní stavy.
- Všechny zachráněné primární prvky jsou válcované ocelové profily. Svařované prvky zde nejsou zahrnuty.
- Prvky, které mají být znovu použity, musí být získány v co nejvíce původním tvaru, i když mohou být potřeba některé dodatečné přípravné a výrobní práce.

Doporučení jsou rozdělena do tří svazků:

Část 1: Stávající prvky a konstrukce

Část 2: Navrhované prvky a konstrukce

Část 3: Environmentální aspekty a praktická realizace.

Část 1 se zabývá obecnými technickými otázkami souvisejícími se využitím recyklované oceli ze stávajících ocelových a ocelobetonových ocelobetonových konstrukcí. Obsahuje stručný popis jednopodlažních a vícepodlažních budov, klasifikaci různých scénářů opětovného využití, historický přehled evropských norem a produktových standardů, výběr a přijetí materiálů a jejich klasifikaci pro nové návrhy v souladu s Eurokódy. Zabývá se také aspekty konstrukčního návrhu z hlediska principů mezních stavů. Protokol pro posuzování stavu, odběr vzorků a zkoušení recyklované oceli je uveden v příloze A. Odvození modifikovaného částečného koeficientu pro odolnost proti vzpěru recyklovaných ocelových prvků je uvedeno v příloze B.

Část 2 zahrnuje návrh nových budov s cílem dosáhnout funkčnosti, snadné výroby, demontovatelnosti a budoucího opětovného využití, spolu s estetickým vzhledem. Obecné zásady pro návrh demontáže a opětovného využití ocelových konstrukcí. Definuje zatížení a kombinace účinků, které se mají použít v konstrukčních výpočtech, a navrhuje obecná vylepšení konstrukčních detailů, která usnadňují budoucí opětovné využití.

Část 3 představuje hodnocení environmentálních výhod opětovného využití recyklovaných ocelových prvků a nabízí informace o praktických aspektech výroby a montáže konstrukcí z recyklované oceli. V poslední části této publikace je uvedeno několik případových studií, které ilustrují využití recyklovaných ocelových konstrukcí v různých zemích EU a některé technické problémy, které bylo nutné překonat.

Členové konsorcia projektů PROGRESS a ADVANCE, kteří se podíleli na vytvoření tohoto dokumentu, jsou:

Petr Hradil	Finsko	Véronique Dehan	Belgie
Ludovic Fülöp	Finsko	Francis Grogna	Belgie
Sirje Vares	Finsko	Carlos del Castillo	Belgie
Margareta Wahlström	Finsko	Helena Gervasio	Portugalsko
Tiina Vainio-Kaila	Finsko	Luis da Silva	Portugalsko
Michael Sansom	Velká Británie	Ari Ilomäki	Finsko
Ana M. Girão Coelho	Velká Británie	Teemu Tiainen	Finsko
Ricardo Pimentel	Velká Británie	Timo Koivisto	Finsko
Mark Lawson	Velká Británie	Jyrki Kesti	Finsko
Viorel Ungureanu	Rumunsko	Břetislav Židlický	Česká Republika
Raluca Buzatu	Rumunsko	František Wald	Česká Republika
Ioan Both	Rumunsko	André Beyer	Francie
Dan Dubina	Rumunsko	Amor Ben Larbi	Francie
Markus Kuhnhenne	Německo	Peetu Hirvonen	Finsko
Dominik Pyschny	Německo	Maria Carrubba	Německo
Kevin Janczyk	Německo	Jie Yang	Lucembursko
Paul Kamrath	Německo	José Humberto Matias de Paula Filho	Lucembursko

OBSAH

1	Úvod	12
1.1	Rozsah této publikace	13
1.2	Návrh a normy pro výrobky	14
1.3	Termíny a definice	16
2	KOMPONENTY JEDNO A VÍCEPODLAŽNÍCH BUDOV	19
2.1	Jednopodlažní ocelové budovy	19
2.1.1	Hlavní nosná konstrukce - příčné vazby a ztužidla	20
2.1.2	Střešní konstrukce	21
2.1.3	Ztužení	22
2.1.4	Střešní konstrukce	22
2.1.5	Střešní plášť	23
2.1.6	Podklady	23
2.2	Patrové budovy	25
2.2.1	Nosná konstrukce	26
2.2.2	Ztužení	26
2.2.3	Stropy	27
2.2.4	Obkladové systémy	28
2.2.5	Literatura	29
3	KLASIFIKACE	31
3.1	Fáze životního cyklu konstrukčních prvků	31
3.2	Scénáře	32
4	HISTORICKÝ PŘEHLED PRAXE A VÝROBKOVÝCH NOREM	34
4.1	Prvky válcované za tepla	34
4.1.1	Výrobkové normy	34
4.1.2	Praxe a návrhové normy	36
4.2	Konstrukční oceli tvářené za studena	36
5	HODNOCENÍ VYUŽITELNOSTI	38
5.1	Parametry	38
5.2	Obecný přístup	39
5.3	Návrh	41
5.4	Návrh na opětovné využití	42
5.4.1	Klasifikace recyklovaných ocelových konstrukcí	43
5.4.2	Požadavky na materiál	44
5.4.3	Zajištění kvality	45
5.4.4	Vlastnosti oceli pro za tepla válcované prvky z recyklované oceli	45
5.4.5	Posouzení materiálových vlastností	48
5.4.6	Posouzení provedení a certifikace recyklovaných ocelových konstrukcí	51

5.5	Složky produktů	51
5.5.1	Odpovídající vlastnosti	51
5.5.2	Spolehlivost	55
5.6	Hlavní nosná konstrukce	57
5.6.1	Třídy provedení	60
5.7	Ocelové prvky tvářené za studena	63
5.7.1	Klasifikace za studena tvářených profilů	65
5.7.2	Kritéria pro výběr a podmínky přijetí pro opětovné použití	65
5.7.3	Požadavky na materiálové vlastnosti	66
5.7.4	Posouzení způsobilosti a spolehlivosti	67
5.7.5	deklarace materiálových vlastností za studena tvářených prvků	67
5.7.6	Životnost	69
5.8	Ocelobetonové vodorovné konstrukce	69
5.9	Obvodový plášť	69
5.9.1	Kritéria pro výběr a podmínky přijetí	70
5.9.2	Pevnost v tahu	71
5.9.3	Pevnost ve smyku	71
5.9.4	Pevnost v tlaku	71
5.9.5	Ohybový moment / únosnost při vrásnění	71
5.9.6	Součinitele spolehlivosti materiálu	71
5.9.7	Životnost	71
5.9.8	Tolerance	72
5.9.9	Tepelné vlastnosti	72
5.9.10	Požární bezpečnost	72
5.9.11	Certifikace	72
6	GLOBÁLNÍ ANALÝZA A NÁVRH STÁVAJÍCÍCH KONSTRUKCÍ	74
6.1	Dosažení spolehlivosti	74
6.1.1	Dílčí součinitele zatížení	76
6.1.2	Možné scénáře pro přijetí kratší životnosti konstrukce	77
6.1.3	Dílčí součinitele spolehlivosti materiálu	78
6.2	Globální analýza	79
6.3	Mezní stav únosnosti	80
6.3.1	Navrhování prutů - únosnost průřezu	80
6.3.2	Navrhování prutů - stabilita	80
6.3.3	Navrhování spojů	80
6.3.4	Návrh hlavní nosné konstrukce	81
6.3.5	Návrh dalších nosných prvků	82
6.4	Vliv seizmických účinků	82
6.5	Mezní stav použitelnosti	83
6.5.1	Deformace	83
	LITERATURA	85

Příloha A	94
A.1 Obecně	94
A.2 Posouzení stavu a způsob měření	94
A.3 Definice skupiny testovaných prvků – zkušební sada	97
A.4 Zkušební metody pro stanovení mechanických vlastností a chemického složení	97
A.5 Zkušební postup	99
A.6 Zkoušení pevnosti a protažení	100
A.7 Vrubová houževnatost	105
A.8 Chemické složení	106
A.9 Geometrické tolerance	106
A.10 Další pokyny pro ocelové výrobky tvářené za studena	107
A.11 Posouzení opětovně použité oceli podle postupu D	107
Příloha B	109
B.1 Stanovení materiálového součinitele podle EN 1990	109
B.2 Odvození modifikovaného dílčího součinitele $\gamma_{M1,mod}$	109

ZNAČENÍ

Malá písmena

f_u	Mez pevnosti
f_y	Mez kluzu
$f_y(t)$	Mez kluzu podle tloušťky plechu
k_n	Hodnoty v tabulce D1 normy EN 1990
m	Průměrná hodnota
n	Exponent
w	Průhyb

Velká písmena

E	Modul pružnosti
F	Působení
G	Modul smyku, stálé zatížení
$G_{k,j,sup}$	Horní charakteristická (vyšší) hodnota j -tého trvalého zatížení
$G_{k,j,inf}$	Dolní charakteristická (nižší) hodnota j -tého trvalého zatížení
H_v	Hodnota tvrdosti podle Vickerse
$K_{\gamma M1}$	Korekční faktor
P_f	Pravděpodobnost selhání
Q	Proměnné zatížení
$Q_{k,1}$	Hlavní proměnné zatížení
$Q_{k,j}$	j -té doprovodné proměnné zatížení
R_{eH}	Mez kluzu z testování nebo příslušné normy pro výrobek
R_m	Mez pevnosti z testování nebo příslušné normy pro výrobek
$R_{p0,2}$	0,2% mez kluzu
S_x	Směrodatná odchylka
V_x	Koeficient variability
X	Vlastnost materiálu nebo výrobku
\bar{X}	Střední hodnota vlastnosti materiálu nebo výrobku
X_d	Návrhová hodnota

X_k Charakteristická hodnota

Řecké písmena a symboly

α	Koeficient lineární tepelné roztažnosti
α_R	Součinitel důležitosti vlastnosti materiálu
β	Index spolehlivosti
γ_G	Dílčí součinitel spolehlivosti (obecný)
γ_m	Dílčí součinitel spolehlivosti materiálu
γ_M	Dílčí součinitel spolehlivosti (obecný)
γ_{M0}	Dílčí součinitel spolehlivosti průřezu
γ_{M1}	Dílčí součinitel spolehlivosti při stabilitě
$\gamma_{M1,mod}$	Modifikovaný dílčí součinitel spolehlivosti při stabilitě
γ_{M2}	Dílčí součinitel spolehlivosti pro průřez v tahu
γ_{Rd}	Dílčí součinitel spolehlivosti při návrhu
ε	Prodloužení po lomu
ν	Poissonovo číslo
ρ	Hustota vzduchu
ξ	Snížení koeficientu pro nepříznivé trvalé účinky
ψ	Kombinační koeficient
ψ_0	Kombinační koeficient pro proměnné účinky
$\psi_{0,i}$	Kombinační koeficient pro proměnné účinky i
Φ	Normální rozdělení

Indexy

ad	Upravená
d	Návrhová hodnota
inf	Nižší
k	Charakteristická hodnota
mod	Upravená
nom	Jmenovitá
sup	Vyšší

Zkratky

CEN	Evropský výbor pro normalizaci
CEV	Hodnota ekvivalentu uhlíku
CFC	Chlorfluoruhlovodík
CHS	Kruhové duté profily
CoV	Variační koeficient
CPR	Nařízení o stavebních výrobcích
D _{0-A}	Scénář opětovného využití in situ
Di _B	Scénář opětovného využití: stejná konfigurace a stejné místo
Di _C	Scénář opětovného využití: odlišná konfigurace a stejné místo
Di _D	Scénář opětovného využití: stejná konfigurace a odlišné místo
Di _E	Scénář opětovného využití: odlišná konfigurace a odlišné místo
DCL	Systémy s nízkou tažností pro seizmické navrhování podle EN 1998-1
DoP	Prohlášení o vlastnostech
DT	Destruktivní zkouška/test
EN	Evropská norma
ETA	Evropské technické posouzení
EU	Evropská unie
EXC	Třída (třídy) provedení
FEM	Metoda konečných prvků
H-CFC	Hydrochlorfluoruhlovodík
hEN	Evropská harmonizovaná norma
LCA	Posouzení životního cyklu
LCC	Posouzení nákladů životního cyklu
LSD	Metoda navrhování mezních stavů
MSB	Vícepodlažní ocelová budova
NA	Národní příloha
NAD	Národní aplikační dokument
NDT	Nedestruktivní zkouška/test
$P-\Delta$	Globální efekty druhého řádu
$P-\delta$	Lokální efekty druhého řádu

PU	Polyuretan
RHS	Obdélníkové duté profily
SHS	Čtvercové duté profily
SLS	Hranice použitelnosti
SSB	Jednopodlažní ocelová budova
STR	Návrhové hodnoty účinků pro pevnost
ULS	Konečné mezní stavy
Z	Zinkování ponořením připraveného pásu do roztavené lázně zinku
ZF	Zinkovo-železný povlak ponořením připraveného pásu do roztavené lázně zinku a následným žíháním
ZA	Zinkovo-hliníkový povlak ponořením připraveného pásu do roztavené lázně zinku a hliníku
ZM	Zinkovo-hořčnatý povlak ponořením připraveného pásu do roztavené lázně zinku, hliníku a hořčíku
AZ	Hliníko-zinkový povlak ponořením připraveného pásu do roztavené lázně hliníku, zinku a křemíku
AS	Hliníko-křemíkový povlak ponořením připraveného pásu do roztavené lázně hliníku a křemíku
Osy	
x	Podélná osa podél prvku
y	Hlavní osa (u I průřezu kolmá na pásnice)
z	Vedlejší osa (u I průřezu kolmá na stěnu stěnu)

1 ÚVOD

Ve stavebnictví se uplatňují postupy, které vedou ke snížení uhlíkové stopy a přispívají k cirkulární ekonomice. Strategie cirkulárnosti v angličtině 9R (Refuse – Rethink – Reduce – Reuse – Repair – Refurbish – Remanufacture – Repurpose – Recycle - Recover tj. odmítnout, přehodnotit, omezit, znovu použít, opravit, renovovat, repasovat, změnit účel, recyklovat a obnovit) lze ve stavebním inženýrství aplikovat tak, aby pomohly vyvinout nové přístupy k navrhování a systémy, které snižují dopady na životní prostředí a zlepšují účinnost staveb. Při navrhování, výstavbě a údržbě ocelových konstrukcí lze rámec 9R chápat jako:

- Odmítněte výrobu zbytečných ocelových konstrukcí. Pokud existuje způsob, jak dosáhnout stejných cílů s již existujícími, je třeba jim dát přednost.
- Přehodnoťte možnosti konce životnosti ocelové konstrukce budovy. Demolice není jediným řešením.
- Snižte emise CO₂ a energetickou náročnost spojenou s výrobou a/nebo recyklací oceli, snižte množství odpadu a spotřebu materiálu vývojem efektivnějších konstrukčních systémů.
- Pokud lze, použijte recyklované ocelové výrobky a nahraďte jimi nové konstrukce.
- Opravte poškozené prvky. Navrhněte nové ocelové konstrukce tak, aby k nim byl přístup pro kontrolu a opravu.
- Renovujte stávající konstrukci, ověřte její integritu, stabilitu a použitelnost a prodlužte její životnost.
- Namísto recyklace obnovte zastaralé součásti tak, aby vyhovovaly aktuálním potřebám.
- Pokud ocelová konstrukce již není potřebná, změnit její účel. Může dobře sloužit v méně náročném prostředí nebo v jiné aplikaci.
- Recyklujte ocelové komponenty, které nelze opravit, renovovat, repasovat nebo změnit jejich účel, aby se minimalizovalo vyčerpání primárních zdrojů a minimalizoval dopad na životní prostředí.
- Zachraňte, co se dá, a najděte pro to nejlepší cirkulární řešení. Ocel není jediným materiálem v budově.

Publikace je nejen zaměřena na opětovné využití stavebních ocelových konstrukcí, ale zabývá se také koncepty jejich renovace, repasování, oprav a změny účelu, protože se často překrývají. Strategie přehodnocování nejsou v této publikaci zahrnuty, protože se týkají spíše adaptivního opětovného využití a sdílení architektonických prostorů než technických řešení pro demontáž a/nebo fyzické úpravy stávajících ocelových konstrukcí.

Snížení emisí uhlíku souvisejících s výrobou materiálů a snížení množství odpadu jsou důležitými úkoly stavebnictví. V rámci filozofie cirkulárnosti ve stavebnictví představil Kibert [1] základní kroky nezbytné k získání a využití materiálů v uzavřeném cyklu a ke snížení množství odpadu na konci životnosti budovy. Budova by měla být navržena tak, aby byla flexibilní z hlediska využití a na konci životnosti se použité materiály daly znovu použít nebo recyklovat.

V souvislosti s opětovným využitím ocelových konstrukcí jsou nové ocelové průřezy dodávány s certifikátem, který zaručuje jejich vlastnosti. Opětovně použité ocelové průřezy vyžadují záruku jejich kvality a v případě absence informací je pro opětovné využití průřezů třeba zkouška materiálu.

Při posouzení vhodnosti a spolehlivosti konstrukce se hledí na to zda:

- Recyklované ocelové prvky splňují požadavky na mechanické, fyzikální, rozměrové a další vlastnosti, aby byla zajištěno využití v konstrukcích podle norem EN 1993.
- Recyklované materiály splňují požadavky na kvalitu podle nominálních specifikací, aby byla zajištěna jejich spolehlivost při využití. Pro konstrukční ocel jsou příslušné normy pro konstrukční návrh EN 1993.
- Konstrukce vyrobené z regenerované oceli musí mít dlouhodobou integritu a trvalou odolnost při následném využití.

Jedná se o klíčové aspekty, které je třeba vyřešit, aby bylo možno prokázat, že recyklovaná konstrukce může být ekonomicky a konstrukčně životaschopnou alternativou. Opětovné využití lze zvážit na všech konstrukčních úrovních, tj. u jednotlivých prvků, konstrukčních komponentů, jako jsou příhradové systémy, rámy nebo sendvičové panely, a u celé konstrukce nebo její části.

Ambicí publikace je poskytnout doporučení a praktické informace o výrobě a detailním zpracování budov z recyklované oceli a o navrhování budov s ohledem na jejich budoucí demontáž a opětovné využití.

Další možnosti jsou:

- Stanovit kritéria geometrie, stavu prvků a vlastností materiálů, aby bylo možno opětovné využití ocelových výrobků, v souladu s normou CEN / TS 1090-201. [2],
- Řešení zjištěných překážek bránících opětovnému využití ocelových konstrukcí [3], zejména získávání a nákup použité oceli, finanční dopady opětovného využití konstrukční oceli a recertifikace ocelových prvků pro opětovné využití.

1.1 Rozsah této publikace

Doporučení poskytují pokyny pro navrhování zlepšení stávajících postupů pro návrhy využívající recyklované ocelové výrobky a poskytují informace o navrhování s ohledem na budoucí přizpůsobivost, demontovatelnosti a opětovné využití. Jsou prezentována jako pokyny pro opětovné využití oceli v kontextu navrhování podle Eurokódu. Pro konkrétní lokalitu mohou příslušné národní přílohy vyžadovat specifické parametry, které mohou také ovlivnit opětovné využití ocelových konstrukcí.

Hlavní cílovou skupinou pokynů jsou stavební inženýři a architekti, kteří se zajímají o opětovné využití recyklované konstrukční oceli a navrhování nových ocelových budov, které lze v budoucnu snadněji rozebrat a znovu použít. Mainstreamové opětovné využití konstrukční oceli bude vyžadovat opatření ze strany všech článků dodavatelského řetězce ocelových konstrukcí, a proto bude průvodce užitečný i pro širší publikum. Zahrnuje doporučení pro jednopodlažní ocelové budovy, jako jsou průmyslové haly a vícepodlažní ocelové a ocelobetonové konstrukce.

Jednopodlažní ocelové budovy jsou obzvláště vhodné pro zpětné získávání a opětovné využití konstrukční oceli, protože:

- Mají opakující se konstrukční systém, který odpovídá dobře definovaným konstrukčním formám.
- Lze je snadno smontovat a demontovat.

- Konstrukční prvky jsou obvykle vizuálně odkryté a přístupné v relativně bezpečné pracovní výšce.
- Obvykle se jedná o konstrukce s nízkou obsazeností.
- Konstrukce obvykle nemají protipožární ochranu.
- Mají potenciál pro standardizaci geometrie a využití primárních komponentů.
- Každá komponenta je snadno dokumentovatelná.

Zpětné získávání a opětovné využití ocelových konstrukcí z vícepodlažních ocelových budov, z nichž většina má ocelobetonové konstrukce, představuje obtížnější úkol, protože ocelové nosníky jsou spojeny s betonovou podlahou pomocí omezeně přístupných smykových spojů. Chen et al. [4] představuje a diskutuje pět potenciálních metod zpětného získávání, které mají překonat obtížnou výzvu v podobě přístupu a řezání svařovaných spojů pro zpětné získání konstrukční ocelové části z ocelobetonové ho nosníku pro opětovné využití, tj. řezání pásovou pilou, řezání lanovou pilou, řezání stěnovou pilou, laserové vrtání a diamantové jádrové vrtání. Tyto metody zpětného získávání však byly implementovány pouze v laboratorních zkušebních testech pro zpětné získávání ocelových částí z malých ocelobetonové ch vzorků. V praxi jsou stávající vícepodlažní ocelové budovy obecně znovu použity na místě (např. rekonstrukcí) kvůli jejich složité konstrukci, ocelobetonové m systémům a kontextově specifickým technickým omezením. Jejich přemístění na nové místo obvykle vyžaduje rozsáhlé přepracování, což omezuje proveditelnost. Naopak suché podlahové systémy, pokud jsou integrovány do vícepodlažních budov, nabízejí lepší možnosti demontáže jednotlivých komponentů. Důležité je, že tyto koncepty již byly implementovány v reálných projektech – například demontovatelné a opakovaně použitelné prefabrikované betonové rámy byly úspěšně použity v několika případech budov ve Finsku. [5],[6]. V druhé části je představeno několik inovací v oblasti návrhu nových, opakovaně použitelných, vícepodlažních systémů.

1.2 Návrh a normy pro výroby

Doporučení jsou připravena podle pravidel a zásad v normách:

- EN 1090-1:2009+A1:2012 [7] - Execution of steel structures and aluminium structures, Part 1: Requirements for conformity assessment of structural components (incorporating CEN amendment A1:2012),
- EN 1090-2:2018+A1:2024 [8] - Execution of steel structures and aluminium structures, Part 2: Technical requirements for steel structures (incorporating CEN amendment A1:2024),
- EN 1990:2023 [9] - Basis of structural and geotechnical design,
- EN 1991-1-1:2002 [10] - Actions on structures, Part 1-1: General actions – Densities, self-weight, imposed loads for buildings (incorporating CEN corrigenda Dec. 2004 and Mar. 2009),
- EN 1991-1-3:2002+A1:2015 [11] - Actions on structures, Part 1-3: General actions – snow loads (incorporating CEN corrigenda Dec. 2004 and Jun. 2009, and CEN amendment A1:2015),
- EN 1991-1-4:2002+A1:2010 [12] - Actions on structures, Part 1-4: General actions – wind actions (incorporating CEN amendment A1:2010),

- EN 1991-1-5:2003 [13] - Actions on structures, Part 1-5: General actions - Thermal actions,
- EN 1991-1-6:2005 [14] - Actions on structures, Part 1-6: General actions - Actions during execution,
- EN 1993-1-1:2022 [15] - Design of steel structures, Part 1-1: General rules and rules for buildings,
- EN 1993-1-3:2024 [16] - Design of steel structures, Part 1-3: General rules – supplementary rules for cold-formed members and sheeting,
- EN 1993-1-8:2024 [17] - Design of steel structures, Part 1-8: Design of joints,
- EN 1993-1-10:2005 [18] Design of steel structures, Part 1-10: Material toughness and through-thickness properties (incorporating CEN corrigenda Dec. 2005, Sep. 2006 and Mar. 2009),
- EN 1994-1-1:2004 [19] Design of composite steel and concrete structures - General rules and rules for buildings.

Při přípravě byly použity normy pro výrobky, které specifikují geometrické a mechanické požadavky:

- EN 10025-1:2004 [20] - Hot rolled products of structural steels, Part 1: General technical delivery conditions,
- EN 10025-2:2019 [21] - Hot rolled products of structural steels, Part 2: Technical delivery conditions for non-alloy structural steels,
- EN 10025-4:2019 [22] - Hot rolled products of structural steels, Part 4: Technical delivery conditions for thermomechanical rolled weldable fine grain structural steels (incorporating CEN amendment A1:2022),
- EN 10025-5:2004 [23] - Hot rolled products of structural steels, Part 5: Technical delivery conditions for structural steels with improved atmospheric corrosion resistance,
- EN 10029:2010 [24] - Hot rolled steel plates 3 mm thick or above, Tolerances on dimensions and shape,
- EN 10034:1993 [25] - Structural steel I and H sections – Tolerances on shape and dimensions,
- EN 10051:2024 [26] - Continuously hot rolled strip and plate/sheet cut from wide strip of non-alloy and alloy steels – Tolerances on shape and dimensions,
- EN 10055:1998 [27] - Hot rolled steel equal flange tees with radiused root and toes – Dimensions and tolerances on shape and dimensions,
- EN 10056-1:2017 [28] - Structural steel equal and unequal leg angles, Part 1: Dimensions,
- EN 10056-2:1993 [29] - Structural steel equal and unequal leg angles, Part 2: Tolerances on shape and dimensions,
- EN 10204:2004 [30] - Metallic products – Types of inspection documents,
- EN 10210-1:2006 [31] - Hot finished structural hollow sections of non-alloy and fine grain steels, Part 1: Technical delivery requirements,
- EN 10210-2:2019 [32] - Hot finished structural hollow sections of non-alloy and fine grain steels, Part 2: Tolerances, dimensions and sectional properties,
- EN 10219-1:2006 [33] - Cold formed welded structural hollow sections of non-alloy and fine grain steels, Part 1: Technical delivery requirements,

- EN 10219-2:2019 [34] - Cold formed welded structural hollow sections of non-alloy and fine grain steels, Part 2: Tolerances, dimensions and sectional properties,
- EN 10279:2000 [35] - Hot rolled steel channels – Tolerances on shape, dimension and mass,
- EN 10346:2015 [36] - Continuously hot-dip coated steel flat products for cold forming – Technical delivery conditions,
- EN 10169:2022 [37] - Continuously organic coated (coil coated) steel flat products - Technical delivery conditions,
- EN 10365:2017 [38] - Hot rolled steel channels, I and H sections – Dimension and masses,
- EN 14399 series [39] - High-strength structural bolting assemblies for preloading (all parts),
- EN 14509:2013 [40] - Self-supporting double skin metal faced insulating panels, Factory made products, Specifications.

1.3 Termíny a definice

Byly použity následující pojmy a definice.

Demolice	Proces, při kterém je budova rozebrána s malým nebo žádným pokusem o opětovné použití jejích základních součástí; materiály vzniklé demolicí však lze recyklovat.
Distributor	Jakákoli fyzická nebo právnická osoba v dodavatelském řetězci, jiná než výrobce nebo dovozce, která dodává stavební výrobek na trh.
Dodavatel	Společnost skladuje a dodává výrobky na trh.
Dovozce	Jakákoli fyzická nebo právnická osoba usazená v EU, která uvádí na trh EU stavební výrobek ze třetí země.
Fasáda	Viz obklad.
Komponenta	Část ocelové konstrukce, např. příhradový nosník, sendvičový panel. Může se jednat o sestavu několika menších komponentů, např. spojů atd.
Konstrukční ocel	Obecný termín pro označení ocelových konstrukcí používaných ve stavebnictví (primárních a sekundárních) a obkladů na bázi oceli
Konstrukční prvek	Součást v rámci konstrukce navržená tak, aby poskytovala mechanickou odolnost a stabilitu a/nebo požární odolnost, včetně aspektů trvanlivosti a provozuschopnosti.
Konstrukční sestava	Sada standardizovaných konstrukčních prvků, které se montují a instalují na místě.
Konstrukční výrobek	Materiály nebo výrobky používané při výrobě stavebních konstrukcí s vlastnostmi používanými při výpočtech mechanické odolnosti a stability staveb a jejich částí a/nebo jejich požární odolnosti, včetně aspektů trvanlivosti a použitelnosti.

Kupující	Společnost, která nakupuje ocelové výrobky; obvykle dodavatel ocelových konstrukcí, který vyrábí ocelové konstrukce.
Notifikovaný subjekt	Nezávislý (nevládní) subjekt třetí strany uznaný EU/EHP, který je oprávněn provádět posuzování shody výrobků, které splňují požadavky harmonizované normy (hEN) nebo evropského technického posouzení (ETA).
Plášť	Prvky fasády a střechy, které tvoří obvodový plášť budovy a zajišťují požadovanou tepelnou a akustickou izolaci, vodotěsnost a vzduchotěsnost, požární ochranu, estetický vzhled a mají nosnost.
Odpad	Nechtěný nebo nevhodný materiál k likvidaci.
Opětovné použití	Použití starých součástí s malými nebo žádnými úpravami, převážně v jejich původní podobě; mohou být znovu použity pro původní funkci nebo přepracovány k nové funkci.
Opětovné použití na místě (In-situ reuse)	Opětovné použití komponentu nebo konstrukce na stejném místě bez přemístění. Například konstrukce budovy může být zachována a znovu použita během rekonstrukce budovy.
Opětovné použití přemístěním	Opětovné použití, kdy proces vyžaduje přepravu konstrukce nebo komponenty za účelem jejího opětovného použití na jiném místě. Opak k opětovnému použití in situ.
Opětovné využití	Jakákoli operace, která mění funkci nebo účel součásti.
Oprava	Oprava závady, ale bez záruky na výrobek jako celek. V kontextu ocelových konstrukcí to může znamenat zesílení součásti.
Plánovaná životnost	Předpokládaná doba, po kterou má být součást používána k zamýšlenému účelu s předpokládanou údržbou, ale bez větších oprav.
Plášť budovy (nebo obálka)	Komponenty nebo části budovy, které oddělují uzavřený prostor od vnějšího prostředí je na ně kladena řada konstrukčních a stavebně fyzikálních požadavků
Podlaha	Konstrukčně přenáší zatížení na sloupy a stěny a zajišťuje stabilitu v horizontální rovině podlaží, čímž přispívá ke celkové stabilitě konstrukce.
Hlavní nosný systém	Zahrnuje všechny hlavní nosné prvky, např. sloupy, vazníky, průvlaky, nosníky a ztužení.
Předdemoliční audit (Pre-demolition audit)	Kvalitativní a kvantitativní posouzení toků stavebního a demoličního odpadu před dekonstrukcí, demolicí nebo rekonstrukcí budov a infrastruktury.

Recyklace	Proces přeměny vyřazených materiálů na nové materiály a výrobky; recyklace oceli zahrnuje přetavování šrotu za účelem vytvoření nových polotovarů.
Rekondice (Reconditioning)	Proces navrácení produktu do dobrého provozního stavu výměnou vadných součástí a aktualizací vzhledu produktu, například čištěním, lakováním nebo renovací.
Rekonstrukce (Refurbishing)	Proces renovace stávající budovy pro nové využití, který může zahrnovat řadu procesů od výměny zařízení a vybavení až po rozsáhlé strukturální úpravy.
Repasování (Remanufacturing)	Oprava závady, ale bez záruky na výrobek jako celek. V kontextu ocelových konstrukcí to může znamenat zesílení součásti.
Rozebrání	Proces rozebrání budovy na její komponenty tak, aby mohly být snadno znovu použity; minimalizuje destruktivní aspekty procesu demolice tím, že zachovává komponenty a materiály.
Sekundární konstrukce	Sekundární ocelová konstrukce, sestávající z bočních příček a vaznic, používaná k podepření opláštění/pláště. V některých případech může poskytovat oporu primární konstrukci.
Třída provedení	Klasifikovaný soubor požadavků založený na Eurokódu specifikovaných pro provádění prací jako celku, jednotlivé součásti nebo detailu součásti.
Třídy následků	Klasifikace budov podle Eurokódu, založená na důsledcích selhání nebo poruchy pro lidi, ekonomiku nebo životní prostředí; s každou třídou důsledků jsou spojeny různé indexy spolehlivosti.
Výrobce	Jakákoli fyzická nebo právnická osoba, která vyrábí stavební výrobek nebo si takový výrobek nechává navrhnout či vyrobit a uvádí jej na trh pod svým jménem nebo ochrannou známkou.

2 KOMPONENTY JEDNO A VÍCEPDLAŽNÍCH BUDOV

2.1 Jednopodlažní ocelové budovy

Jednopodlažní ocelové budovy (JOB) jsou všestranné a běžně se používají v různých aplikacích, jako jsou sklady, maloobchodní prostory, průmyslová a zemědělská zařízení. Jejich inherentní vlastnosti, jako je pevnost a flexibilita, je činí ideálními pro širokou škálu konstrukčních požadavků.

JOB se klasifikují na základě svých konstrukčních systémů, které jsou přizpůsobeny specifickým funkčním požadavkům a podmínkám expozice. Mezi primární konstrukční systémy používané v JOB patří portálové rámy a vazníky. Každý systém má odlišné vlastnosti, které ovlivňují návrh, konstrukci a celkový výkon budovy. JOB se obvykle vyznačují dlouhými rozpětími a mohou poskytovat kancelářské prostory v propojené konstrukci nebo v mezipatře.

Široké používání JOB demonstruje přizpůsobivost oceli jako stavebního materiálu a nabízí řadu konfigurací přizpůsobených specifickým konstrukčním, estetickým a provozním požadavkům a zároveň zajišťuje efektivitu a bezpečnost. JOB lze snadno přizpůsobit různým funkcím a zároveň zajistit rychlý časový harmonogram výstavby a nákladovou efektivitu. Tato moderní stavební metoda, která se vyznačuje lehkými, ohnivzdornými a udržitelnými materiály, se neustále vyvíjí a nabízí vylepšené návrhy a technologie pro lepší výkon a trvanlivost ve stavebních aplikacích.

Schéma uspořádání typické jednopodlažní budovy s portálovým rámovým systémem je znázorněno na jednopodlažní ocelové budově. JOB jsou velmi všestranné a běžně se používají v různých aplikacích, jako jsou sklady, maloobchodní prostory, průmyslová a zemědělská zařízení. Jejich inherentní vlastnosti, jako je pevnost a flexibilita, je činí ideálními pro širokou škálu konstrukčních požadavků.

JOB se klasifikují na základě svých konstrukčních systémů, které jsou přizpůsobeny specifickým funkčním požadavkům a podmínkám expozice. Mezi primární konstrukční systémy používané v JOB patří portálové rámy a vazníky. Každý systém má odlišné vlastnosti, které ovlivňují návrh, konstrukci a celkový výkon budovy. JOB se obvykle vyznačují dlouhými rozpětími a mohou poskytovat kancelářské prostory v propojené konstrukci nebo v mezipatře.

Široké používání JOB demonstruje přizpůsobivost oceli jako stavebního materiálu a nabízí řadu konfigurací přizpůsobených specifickým konstrukčním, estetickým a provozním požadavkům a zároveň zajišťuje efektivitu a bezpečnost. JOB lze snadno přizpůsobit různým funkcím a zároveň zajistit rychlý časový harmonogram výstavby a nákladovou efektivitu. Tato moderní stavební metoda, která se vyznačuje lehkými, ohnivzdornými a udržitelnými materiály, se neustále vyvíjí a nabízí vylepšené návrhy a technologie pro lepší výkon a trvanlivost ve stavebních aplikacích.

Schéma uspořádání typické jednopodlažní budovy s portálovým rámovým systémem je znázorněno na obr. 2.1.

Konstrukce má tři vrstvy:

- primární ocelová konstrukce sestávající z příčných vazeb a ztužovacího systému ve střeše a stěnách,

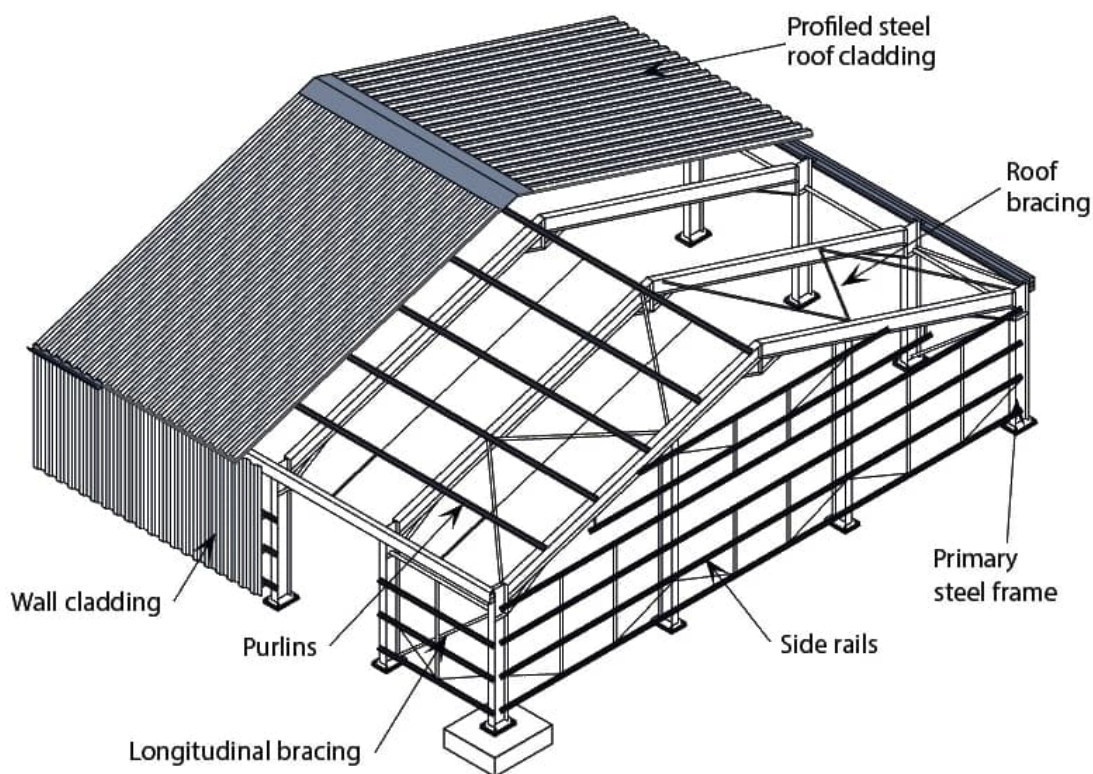
- sekundární ocelová konstrukce sestávající z bočních lišt pro stěny a vaznic pro střechu, které jsou obvykle z válcovaných za studena prvků,
- obklad stěn a střechy, typicky ve formě sendvičových panelů nebo skládaných střešních systémů.

Zatížení zahrnuje:

- vlastní hmotnost konstrukce a jejích komponent, včetně zařízení, které jsou konstrukcí podepřeny,
- proměnné zatížení působící na konstrukci v důsledku obsazenosti a užívání budovy,
- zatížení z vlivů prostředí, např. sněhové, větrné nebo tepelné zatížení a seismické účinky.

Možnosti rámování pro jednopodlažní budovy jsou následující:

- Jednoduché nosníky/sloupy, často označované jako ztužené konstrukce,
- Portálové rámy a jejich varianty pro řadu aplikací se středním rozpětím,
- Příhradové konstrukce (vazníky) pro delší rozpětí nebo těžké zatížení střechy.



Obr. 2.1 Jednopodlažní ocelové budovy (JOB) jsou velmi všestranné a běžně se používají v různých aplikacích, jako jsou sklady, maloobchodní prostory, průmyslová a zemědělská zařízení. Jejich inherentní vlastnosti, jako je pevnost a flexibilita, je činí ideálními pro širokou škálu konstrukčních požadavků.

2.1.1 Hlavní nosná konstrukce - příčné vazby a ztužidla

Portálové rámové konstrukce patří k nejběžnějším systémům a mohou být šikmé nebo ploché. Tyto systémy se skládají ze série pevně spojených rámov, které obvykle zahrnují

svislé sloupy a nosníky v příčném směru, ztužidlový systém na střeše a podélné stěny a vaznice, boční nosníky a střešní systémy. Sloupy slouží jako svislé podpěry, které přenášejí zatížení ze střechy na základy. Nosníky překlenují vzdálenost mezi sloupy a poskytují tak nezbytnou oporu pro střechu. Prvky jsou často vyrobeny z válcovaných ocelových profilů, svařovaných průřezů nebo dutých ocelových trubek. Tuhost spojů umožňuje ráům odolávat bočnímu zatížení, což je činí obzvláště vhodnými pro oblasti vystavené větru nebo seismickým silám. Konstrukce příčné vazby umožňuje mnohokrát široké otevřené prostory a flexibilní vnitřní uspořádání bez nutnosti vnitřních sloupů, což je výhodné pro sklady nebo obchodní prostory.

Konstrukční rámy lze navrhnout s kloubovými, polotuhými nebo spojitými styčníky. Kloubové styčníky na kloncích prvků mají nízkou ohybovou tuhost a nepřenášejí významné ohybové momenty. Vodorovnému zatížení odolává ztužidlový systém. U spojitých jsou spoje navrženy tak, aby poskytovaly dostatečnou tuhost, aby je bylo možno považovat za tuhé, a proto přenášejí ohybové momenty mezi prvky. Polotuhé spoje se navrhují tak, aby přenášely daný ohybový moment, menší než u plně tuhé řešení. To umožňuje větší flexibilitu při návrhu a zlepšuje konstrukční vlastnosti a hospodárnost.

Další možností ocelových střešů jsou příhradové soustavy, které vytvářejí lehkou, ale pevnou konstrukci. Příhradové nosníky efektivně podpírají střechu a zároveň minimalizují spotřebu materiálu. V závislosti na konstrukci mohou být příhradové nosníky šikmé nebo ploché, což umožňuje různé architektonické estetické a funkční potřeby. Příhradové nosníky rozkládají účinky vnitřních sil do svých pasů prostřednictvím styčnic, proto jsou efektivní pro překlenutí velkých vzdáleností bez vnitřní podpory, což může být výhodné pro sportovní zařízení nebo venkovní pavilony.

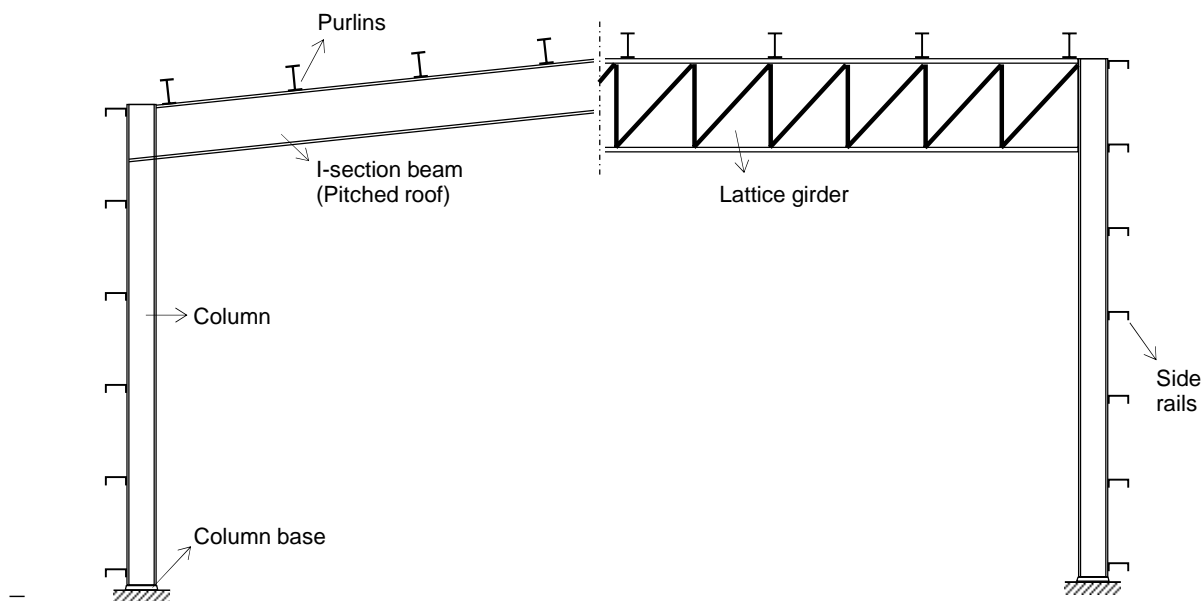
Sekundární prvky podpírají plášť střešů a stěn. Pojem sekundární se nevztahuje na důležitost prvku, ale spíše na jeho pořadí v procesu výstavby. Vaznice a pažďíky přenášejí zatížení na hlavní nosný systém. Plášť zajišťuje kontrolované vnitřní prostředí budovy a zahrnuje komponenty, jako jsou střešní okna a větrací otvory. Jak plášť, tak sekundární prvky poskytují ochranu proti vybočení primárních nosných prvků.

2.1.2 Střešní konstrukce

Střešy mohou být ploché nebo šikmé. Střešní systémy jsou navrženy tak, aby přenášely zatížení a vytvářely obvodový plášť budovy, aby si udržely požadované vnitřní prostředí a funkci. Z konstrukčního hlediska jsou střešní systémy navrženy tak, aby nesly vlastní tíhu, trvalé zatížení od sekundárních prvků a opláštění, užité zatížení, zatížení sněhem a zatížení větrem, včetně vztlaku. Střeš také poskytuje akustickou a tepelnou izolaci, takže plášť budovy je vzduchotěsný a vodotěsný.

Běžné střešní systémy u jednopodlažních konstrukcí jsou znázorněny na obr. 2.2, kde jsou:

- Plnostěnné vazníky, s využitím příčlů s náběhy spojených tuhými spoji se sloupy, pro rozpětí až do ~50 m. Mohou mít jedno pole nebo více polí. Sklon je obvykle asi 6°.
- Příhradové vazníky s šikmými horními pasy pro rozpětí do ~100 m nebo pro velká zatížení na střechu.



Obr. 2.2 Konstrukční prvky typických ocelových hal

2.1.3 Ztužení

Výztužné systémy používané v jednopodlažních budovách lze rozdělit do tří kategorií:

- Trvalé ztužení
- Dočasné ztužení
- Ztužení pásnic sloupů a příčlů proti klopení

Trvalé ztužení se navrhuje tak, aby zajišťovalo celkovou stabilitu konstrukce. Často zahrnuje příhradové konstrukce (tj. trojúhelníkové přímé propojené prvky) nebo membrány tvořené střešní krytinou. Pokud se používá křížové vyztužení, může působit jako prvek působící pouze v tahu, což umožňuje deformaci tlaceného prvku příčného vyztužení. Střešní krytina může působit jako membrána a výrazně zpevnit budovu.

V závislosti na postupu výstavby může být nutné použít dočasné vyztužení.

Pro budovy značné velikosti a/nebo u některých typů konstrukcí je třeba navrhnout zvláštní vyztužovací systém.

2.1.4 Střešní konstrukce

Ocelová konstrukce na střeše obvykle tvoří systém vaznic mezi vazníky. Tradičně se vaznice navrhovali ze za tepla válcovaných průřezů. V poslední době se staly populární vaznice tvarované za studena. V závislosti na typu opláštění jsou rozestupy vaznic obvykle mezi 1,2 a 2,5 m, typická hodnota je 1,8 m. Vaznice nejsou třeba pro prvky velkých rozpětí mezi vazbami.

Střešní vaznice jsou obvykle nosníky z válcované oceli ve tvaru I, za studena tvarované nosníky ve tvaru C nebo Z, s alternativními možnostmi sigma nebo omega profilů. Jsou navrženy tak, aby:

- přenášely zatížení ze střešního pláště, včetně zatížení způsobeného sněhem a přístupem pro údržbu,
- případně přenášely horizontální zatížení do ztužidel,
- vodorovně zajišťovaly příčné vazby.

Vazníky a vaznice se obvykle dodávají jako součást systému spolu se spojovacími prvky a šrouby.

Obklad stěn je často podepřen paždíky umístěných na sloupech vazeb. V současné době jsou paždíky oblíbenou volbou za studena tvarované průřezy C. Pro paždíky souvislé přes několik sloupů se využívají za studena tvarované průřezy Z. Paždíky se navrhují, aby:

- přenášely zatížení, včetně zatížení větrem, ze stěnového obkladu na sloupy,
- přenášely horizontální zatížení na výztužný systém a
- držely sloupy vodorovně.

Plášť zpevňuje stěnu a přenáší významnou část zatížení přímo na sloupy, přičemž zároveň brání paždíkům v deformaci.

2.1.5 Střešní plášť

Hlavní funkcí střešního pláště je zajistit kvalitu vnitřního prostředí podle využití budovy. Obecné požadavky jsou:

- zajistit požadovanou úroveň tepelné izolace,
- odolávat tlaku větru a vzlaku větru prostřednictvím upevnění k vaznicím,
- zabránit šíření ohně,
- zajistit vzduchotěsnost obvodového pláště budovy,
- zahrnout opatření pro větrání budovy, např. pomocí mechanického zařízení,
- zajistit akustickou izolaci kompatibilní s předpokládaným využitím budovy,
- stabilizovat sekundární ocelové prvky a někdy i primární ocelové konstrukce pomocí vhodných zádržných prvků.

V jednopodlažních budovách se obklady s krátkým rozpětím (rozpětí až 2–3 m) obvykle upevňují k sekundární ocelové konstrukci. Alternativně lze použít obklady s dlouhým rozpětím, s rozpětím až 10 m. Obklady s dlouhým rozpětím mohou mít podobu hlubokých trapézových plechů nebo panelů na střeších a horizontálně instalovaných sendvičových panelů na stěnách, které se rozprostírají mezi rámy. Toto řešení snižuje počet montážních prvků a počet vrstev budovy. Typické pláště:

- jednovrstvé trapézové plechy
- dvouvrstvé skládané systémy
- sendvičové panely

2.1.6 Podklady

Pod vedením společností Arcelor Mittal, Peiner Träger a Corus byly připraveny návrhové podklady pro jednopodlažní ocelové budovy. Technický obsah připravily společnosti CTICM

a SCI, které spolupracují v rámci Steel Alliance. Materiál je k dispozici na adrese https://constructalia.arcelormittal.com/en/news_center/articles/design_guides_steel_buildings_in_europe [41]. Obsahuje:

- Jednopodlažní ocelové budovy – Část 1: Průvodce pro architekty;
- Jednopodlažní ocelové budovy – Část 2: Koncepční návrh;
- Jednopodlažní ocelové budovy – Část 3: Působení;
- Jednopodlažní ocelové budovy – Část 4: Podrobný návrh portálových rámců;
- Jednopodlažní ocelové budovy – Část 5: Podrobný návrh krovů;
- Jednopodlažní ocelové budovy – Část 6: Podrobný návrh sestavených sloupů;
- Jednopodlažní ocelové budovy – Část 7: Požární inženýrství;
- Jednopodlažní ocelové budovy – Část 8: Obvodové pláště budov;
- Jednopodlažní ocelové budovy – Část 9: Úvod do počítačového softwaru;
- Jednopodlažní ocelové budovy – Část 10: Specifikace konstrukce modelu;
- Jednopodlažní ocelové budovy – Část 11: Momentové spoje.

Návody k návrhu lze najít na

<https://steelconstruction.info/> [43]. Jedná se o:

- SCI P164: Design of portal frames for Europe. The Steel Construction Institute, 2001;
- SCI P313: Single storey steel framed buildings in fire boundary conditions. The Steel Construction Institute, 2002;
- SCI P252: Design of single span steel portal frames to BS 5950:2000. The Steel Construction Institute, 2004;
- SCI P346: Best practice for the specification and installation of metal cladding and secondary steelwork. The Steel Construction Institute, 2006;
- SCI P347: Single storey buildings - Best practice guidance for developers, owners, designers & constructors. The Steel Construction Institute, 2006;
- EP37: Best practice in steel construction – Industrial buildings. Guidance for architects, designers & constructors. The Steel Construction Institute, 2008;
- SCI P397: Elastic design of single-span steel portal frame buildings to Eurocode 3. The Steel Construction Institute, 2012;
- SCI P399: Design of steel portal frame buildings to Eurocode 3, The Steel Construction Institute, 2015;
- Target Zero: Guidance on the design and construction of sustainable, low carbon warehouse buildings. Tata Steel and BCSA, 2011;
- Scheme development: Selection of the external wall envelope system for single storey buildings, SS019a-EN-EU. Access Steel;
- Scheme development: Details for portal frames using rolled sections, SS051a-EN-EU. Access Steel;
- Scheme Development: Design of portal frames using fabricated welded sections, SS052a-EN-EU. Access Steel;
- Scheme development: Selection of the external roof envelope system for single storey buildings, SS018a-EN-EU. Access Steel;
- Scheme development: Overview of structural systems for single-storey buildings, SS048a-EN-EU. Access Steel.

Seznam není zcela vyčerpávající a lze využít i další dokumenty určené pro určité země nebo výrobky.

2.2 Patrové budovy

Vícepodlažní ocelové budovy konstrukce využívají konstrukční systémy navržené tak, aby odolávaly zatížení, kterému jsou během své životnosti vystaveny. Návrh je založen na využití oceli pro její pevnost, univerzálnost a schopnost být zpracována do široké škály tvarů. Vícepodlažní ocelové budovy lze klasifikovat na základě jejich konstrukčních systémů. Volba systému je ovlivněna výškou budovy, přičemž existují typické možnosti:

- rámová ztužidla – pro budovy do přibližně čtyř podlaží, kde rozhoduje horizontální zatížení,
- příhradová ztužidla – pro budovy do výšky přibližně 12 podlaží,
- ocelové nebo betonové jádro – vhodné pro budovy do výšky přibližně 40 podlaží.
- superkonstrukce - pro velmi vysoké budovy je ovlivněna jejich stabilizačními systémy a není předmětem této příručky.

Rámová ztužidla odolávají vodorovným silám díky tuhým spojům mezi nosníky a sloupy. Uspořádání podporuje flexibilitu při zachování pevnosti. Tuhost spojů umožňuje konstrukci zachovat svůj tvar a zároveň rovnoměrně rozložit síly po celé konstrukci. Řešení umožňuje vytvářet otevřené půdorysy.

Příhradová ztužidla mají diagonální výztuhy mezi sloupy a nosníky, které vytvářejí trojúhelníkové uspořádání zvyšující stabilitu. Diagonální výztuhy účinně působí proti bočním silám, díky čemuž je tento systém vhodný zejména pro vyšší budovy. Návrh snižuje množství oceli a zároveň podporuje integritu. Ztužidla lze konfigurovat do různých tvarů, X, V a A, v závislosti na architektonickém záměru a požadavcích na návrh.

Systémy smykových stěn zahrnují svislé stěny z vyztuženého betonu nebo oceli, které jsou vhodně umístěny v budově tak, aby odolávaly bočním zatížením. Stěny fungují jako svislé konzolové nosníky, které účinně přenášejí síly do základů, což je činí ideálními pro budovy navržené tak, aby odolávaly vysokému tlaku větru nebo seizmické aktivitě, a poskytují konstrukci větší tuhost a stabilitu. Integrace smykových stěn může výrazně zvýšit tuhost konstrukce a zároveň umožnit otevřené půdorysy.

Zatížení:

- vlastní hmotnost konstrukce a jejích součástí, včetně vybavení,
- proměnné způsobené obsazením a používáním budovy, včetně pohyblivých příček,
- způsobená vlivy prostředí, např. sněhem, větrem nebo teplotními a seizmickými vlivy,
- způsobená mimořádnými událostmi, např. nárazem vozidel, výbuchy.

2.2.1 Nosná konstrukce

Ve vícepodlažních budovách jsou svislé síly přenášeny do základu sloupy. Jejich počet závisí na zamýšleném využití, zatížení a typu základu, který je sám ovlivněn základovými podmínkami na staveništi.

Sloupy se navrhují na vzpěrnou pevnost. V závislosti na velikosti a rozložení konstrukce, montážních nákladech, ceně oceli a snadné montáži stropů, stěn a fasády, požadavků na požární odolnost nebo odolnost proti korozi a architektonickými preferencemi se obvykle používají H průřezy, ocelové nebo ocelobetonové a duté kruhové průřezy, ocelové nebo ocelobetonové.

Nosníky jsou vystaveny především ohybovým momentům. Vyžadují dostatečnou tuhost a pevnost, aby byla zajištěna strukturální integrita. K dispozici jsou za tepla válcované průřezy vhodné pro malé a střední rozpětí, svařované průřezy (obvykle používané pro delší nosníky), prolamované nosníky vyrobené ze za tepla válcovaných průřezů s kruhovými nebo šestihrannými otvory ve stěně (což zvyšuje pevnost a vytváří otvorů pro potrubí) a ocelobetonové průřezy spojené s betonovou deskou spřehovacími trny nebo spřahovací lištou.

Ocelobetonové nosníky jsou vhodné pro podlahy s velkým rozpětím (až ~20 m), protože využívají velkou tlačnou část betonové desky a vysokou pevnost v tahu ocelového nosníku. Vykazují výborné mechanické vlastnosti, tuhost a únosnost. K dispozici je několik typů ocelobetonových nosníků: monolitické desky, které vyžadují dočasné bednění, prefabrikované desky, kde je ocelový nosník částečně zakryt betonem pro jeho zvýšení požární odolnosti. Ve vícepodlažních budovách se využívají štíhlé podlahové konstrukce, aby se maximalizoval využitelný prostor. Ocelový nosník se integruje přímo do betonové desky, čímž se snižuje celková výška podlahové nosné konstrukce. Obr. 2.3 ukazuje vhodná rozpětí pro možné konstrukce podlahy.

	Span (m)					
	6	8	10	13	16	20
Reinforced concrete flat slab	█					
Slim floor beams and deep composite slab	█	█				
Integrated beams with precast slabs	█	█	█			
R.C. beams and slab		█	█	█		
Post-tensioned concrete flat slab			█	█	█	
Composite beams and slab		█	█	█	█	
Fabricated beams with web openings			█	█	█	█
Cellular composite beams			█	█	█	█
Composite trusses					█	█

Obr. 2.1 Rozpětí pro podlahové konstrukční systémy [41] a[44]

2.2.2 Ztužení

Kromě rámu efektu lze celkovou stabilitu vícepodlažních budov zajistit výztužnými systémy. Ztužení tuhými rámy je efektivním řešením. Využití pouze tuhých příčných vazeb k zajištění

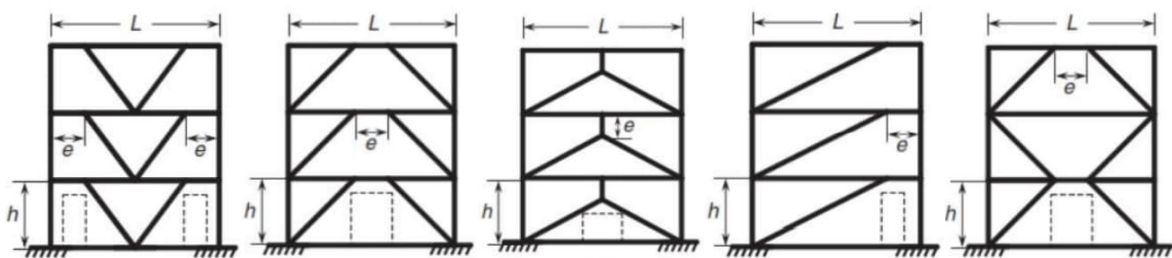
tuhosti vyžaduje silnější sloupy a někdy i nosníky a vede s rostoucím počtem podlaží budovy k vyšším nákladům. Proto v ekonomickém řešení mohou rámy poskytovat primární podporu v jednom směru, zatímco příhradové vyztužené systémy jsou umístěny v kolmém směru.

Vyztužené ocelové rámy zahrnují různé konfigurace vyztužení ve stěnách, obvykle skryté v dutinách fasády nebo kolem schodišť a servisních prostor. V seismických oblastech lze k zlepšení odolnosti proti seismickým zatížením použít několik systémů. Mezi ně patří:

- Rámová ztrudila (MRF): Využívá se tuhost nosníků a sloupů.
- Centrická příhradová ztužidla (CBF): CBF používají pruty k přenosu smykových sil. V CBF jsou nosníky namáhány silami v jejich osách.
- Excentrická příhradová ztužidla (EBF): Diagonály jsou navrženy tak, aby se během zemětřesení ohýbaly a disipovaly energii. V EBF je podélná osa vzpěr excentrická vůči středu nosníku.
- Příhradová ztužidla s omezeným vzpěrem (BRBF): BRBF omezuje vzpěr pruty s pláštěm, který umožní disipaci energie při vybočení.
- Smykové stěny (SPSW): Tyto stěny, vyrobené z ocelových plechů, představují tuhé prvky, které odolávají smykovým silám vyvolaným seismickými zatíženími.

Systém EBF, který kombinuje systémy MRF a CBF, je poddajný (stejně jako systém MRF) a má vysokou tuhost (stejně jako systém CBF). Zahrnuje několik prvků, obr. 2.4.

Příhradová ztužidla se používají ve vícepodlažních budovách k zajištění vodorovné tuhosti. Budovy jsou obvykle navrženy s kloubovými styčnicí. Ztužidla mohou být umístěna vně nebo uvnitř budovy.



a) Příhrady ve tvaru V b) ve tvaru K c) EBF se svislým prutem d) ve tvaru neúplného K e) ve tvaru obráceného Y

Obr. 2.4 Upořádání prutů u příhradových ztužidel

2.2.3 Stropy

Ve vícepodlažní budově přenáší podlahy zatížení na svislé prvky a díky membránovému působení zajišťují tuhost v horizontální rovině a přispívají tak k celkové tuhosti konstrukce. Ve vícepodlažních budovách bývá kmitání podlahy kritickým faktorem při navrhování. Technické rozvody mohou být integrovány do konstrukce podlahy. Alternativně mohou být zavěšeny pod podlahou. V komerčních budovách umožňují zdvojené podlahy snadnou distribuci rozvodů v prostoru pod podlahou. Usnadní se údržba a úpravy rozvodů bez narušení provozu budovy.

Výběr konstrukce podlahy je založen na několika faktorech. Mezi běžné možnosti patří:

- Ocelobetonová deska s trapézovým plechem, který slouží jako trvalé bednění pro betonovou desku a která přispívá tuhosti podlahy. Spojení mezi betonem a ocelí je zajištěno výstupky v trapézovém plechu.
- Ocelobetonová deska s trapézovým plechem, který slouží jako trvalé bednění pro betonovou desku a která přispívá tuhosti podlahy. Spojení mezi betonem a ocelí je zajištěno spřažením nosníků.
- Prefabrikovaná ocelobetonové deska: prefabrikované deskové prvky o délce až 7 m a šířce 1,20 m.
- Duté prefabrikované desky jsou položeny na ocelové nosníky. Duté desky mohou být umístěny na spodní pásnici nosníku nebo na úložnách úhelnících tvaru L přivařených ke stojině ocelového nosníku. Aby byl zajištěn membránový účinek podlahy, jsou prefabrikáty nadbetonovány
- Prefabrikovaná deska s nabetonováním využívá kombinaci prefabrikovaných betonových desek a betonáže na místě. Během betonáže, aby se přenesla hmotnost prefabrikátu, čerstvého betonu a stavebních dělníků mohou být využity dočasné podpěry. Díky spřažení mezi deskou a nosníky se zlepší tuhost a únosnost.
- Suché podlahy: podlaha vyrobená z jednotlivých sestavených komponentů, jako jsou sádkokartonové desky, dřevěné desky, trapézové plechy a minerální vlna. Trapézové plechy umožní instalaci technických zařízení.

2.2.4 Obkladové systémy

Typické obklady pro vícepodlažní budovy jsou:

- Zděný plášť: u budov do tří podlaží může být zděný plášť založen přímo na zemi. Vyšší stavby vyžadují dodatečnou podporu, která se obvykle zajišťuje nerezovými úhelníky, konzolami nebo úhelníky, které jsou připojeny k nosné konstrukci.
- Prosklené systémy: obvykle zahrnují trojitě zasklení nebo dvouplášťové fasády. Vodorovnou tuhost zajistí hliníková sloupky nebo skleněná žebra, které nabízí řadu tvarových možností. Běžné jsou panely, které zajišťují odolnosti proti povětrnostním vlivům. Je třeba řešit rozdíly mezi tolerancemi ocelových příčných vazeb a zasklívacích panelů. Dochází k tepelné roztažnosti a smršťování, což vyžaduje, aby byl podpůrný systém dostatečně poddajný.
- Závěsné fasády: plášť tvoří hliníkové nebo jiné lehké panely, které jsou připevněny k obvodové ocelové konstrukci, kamenný obklad nebo prefabrikované betonové panely. Obkladový systém může unést svou vlastní hmotnost a působící zatížení (panel je zavěšen v horní části panelu nebo podepřen v základně, od podlahy), nebo může vyžadovat dodatečnou podporu (podpora, která má obvykle podobu sloupků, svislých prvků, které mohou překlenout více podlaží; v některých případech lze k propojení sloupků na mezilehlých úrovních použít vodorovné prvky, příčky, které dále zvyšují stabilitu). Každý systém používá vlastní kotvení, které umožňuje dostatečný pohyb ve třech směrech. Kotvení spojí obklad s konstrukcí budovy. Konstrukce podlahové desky musí odolat lokálním silám vyvíjeným obkladem. Běžným řešením je zabudování

úložného profilu do okraje desky, který poskytuje bezpečné a kompatibilní místo pro připevnění upevňovacích prvků obkladu.

- Izolované dlaždice nebo omítkové obkladové systémy: tyto obkladové systémy jsou podepřeny lehkými výplňovými stěnami. Izolace a omítka nebo dlaždice jsou podepřeny sekundárním ocelovým rámem. Dlaždice mohou být jednotlivé nebo skládané do panelů. Tento systém využívá zdiva jako vnějšího pláště.

2.2.5 Literatura

Pod vedením společností Arcelor Mittal, Peiner Träger a Corus byla pro vícepodlažní ocelové budovy (MSB) připravena řada projektových pomůcek. Technický obsah připravily CTICM a SCI ve spolupráci v rámci Steel Alliance. Je k dispozici na [41]. Obsahuje:

Vícepodlažní ocelové budovy

- Část 1: Průvodce architekta;
- Část 2: Koncepční návrh;
- Část 3: Zatížení;
- Část 4: Detailní návrh;
- Část 5: Návrh spojů;
- Část 7: Specifikace modelové konstrukce;
- Část 8: Popis kalkulátoru únosnosti prutů;
- Část 9: Popis jednoduchého kalkulátoru únosnosti spojů;
- Část 10: Pokyny pro vývojáře softwaru pro návrh ocelobetonových nosníků.

Další relevantní návrhové příručky pro vícepodlažní ocelové budovy lze nalézt na adrese <https://steelconstruction.info/> [44]. Jsou to:

- SCI P332: Steel in Multi-storey residential buildings. The Steel Construction Institute, 2004;
- SCI P362: Concise Eurocode for design of steel buildings. The Steel Construction Institute, 2009;
- SCI P365: Steel building design: Medium rise braced frames. The Steel Construction Institute, 2009;
- BSCA 35/03: Steel buildings. The British Construction Steel Association, 2003;
- SCI P300: Composite slabs and beams using steel decking: Good practice for design and construction, (3rd Edition), The Steel Construction Institute and The Metal Cladding & Roofing Association, 2023;
- SCI P355: Design of composite beams with large web openings. The Steel Construction Institute, 2011;
- SCI P354: Design of floors for vibrations- A new approach. The Steel Construction Institute, 2009;
- SCI P166: Design of steel framed buildings for service integration. The Steel Construction Institute, 1992;
- SCI P416: The design of cast-in plates. The Steel Construction Institute, 2017;
- SCI P101: Interfaces - Steel supported glazing systems. The Steel Construction Institute, 1997;
- Best Practice in Steel Construction: Commercial Buildings. The Steel Construction Institute, 2008;

- Target Zero - Guidance on the design and construction of sustainable, low carbon office buildings. Tata Steel and BCSA, 2012.
- Scheme Development: Coordination of structural and architectural design for multi-storey buildings with steel frames, SS001a-EN-EU. Access Steel;
- Scheme Development: Composite slabs for multi-storey buildings for commercial and residential use, SS010a-EN-EU. Access Steel;
- Scheme Development: Integrated beams for multi-storey buildings for commercial and residential use, SS013a-EN-EU. Access Steel.

Seznam není zavazující a lze použít další materiály specifické pro určité země nebo produkty.

3 KLASIFIKACE

3.1 Fáze životního cyklu konstrukčních prvků

Životní cyklus budovy nebo produktu lze rozdělit podle norem CEN/TC 350 pro LCA (posouzení životního cyklu) a LCC (posouzení nákladů životního cyklu) do několika modulů [45] až [47], viz obr. 3.1:

A: Fáze produktu a výstavby

- A0: Fáze před výstavbou
- A1: Dodávky surovin
- A2: Doprava
- A3: Výroba
- A4: Doprava
- A5: Proces výstavby a instalace

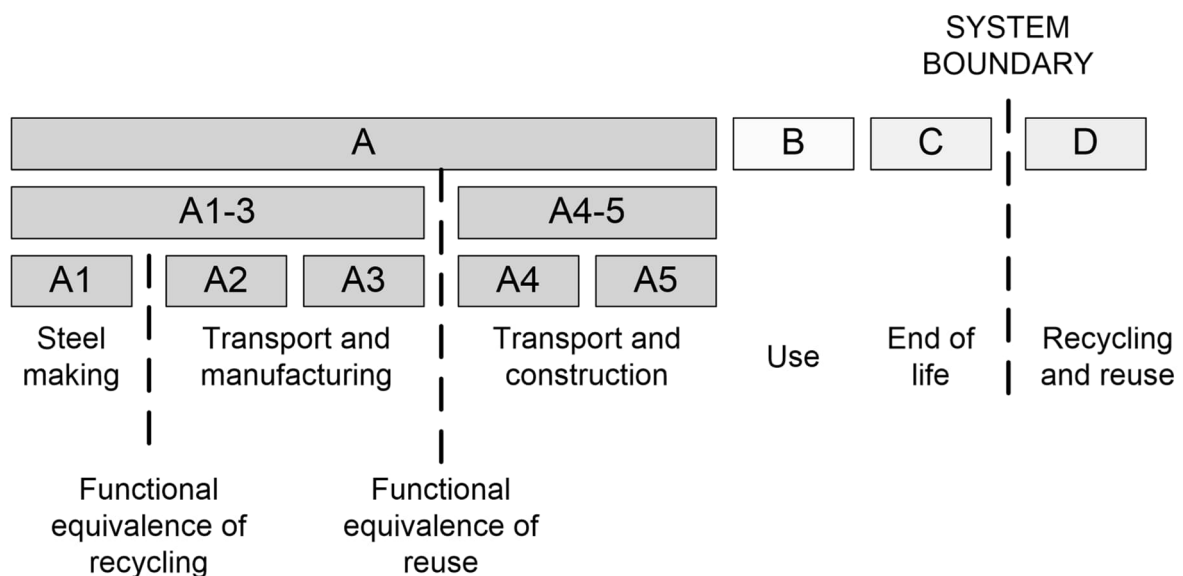
B: Fáze užívání

- B1: Používání
- B2: Údržba
- B3: Oprava
- B4: Výměna
- B5: Rekonstrukce

C: Fáze konce životnosti

- C1: Dekonstrukce, demolice
- C2: Doprava
- C3: Zpracování odpadu
- C4: Likvidace

D: Potenciál opětovného využití, využití a recyklace

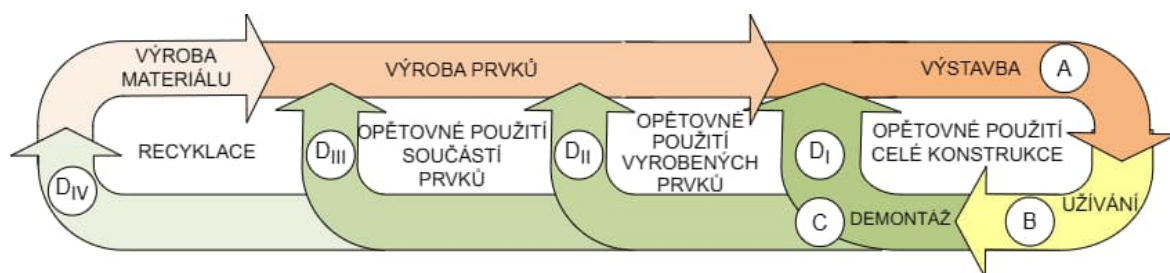


Obr. 3.1 Fáze životního cyklu oceli a komponent z oceli

3.2 Scénáře

Jak je znázorněno na obr. 3.2, v závislosti na způsobu demontáže lze rozpoznat několik základních případů opětovného využití součástí:

- D0: Na místě bez demontáže,
- D1: Demontované ocelové konstrukce (může zahrnovat i plášť),
- DII: Části konstrukce (např. sendvičových panelů, sloupů),
- DIII: Jednotlivých výrobků z konstrukce (např. prutů, plechů).



Obr. 3.2 Scénáře opětovného využití v hodnotovém řetězci

Z hlediska dekonstrukce a přepravy může existovat několik scénářů:

- DA: Opětovné využití na místě bez demontáže,
- DB: Opětovné využití na stejném místě ve stejné konfiguraci,
- DC: Opětovné využití na stejném místě v jiné konfiguraci,
- DD: Opětovné využití na jiném místě ve stejné konfiguraci,
- DE: Opětovné využití na jiném místě v jiné konfiguraci.

Dělení z hlediska této klasifikace je vysvětleno v tabulce 3.1.

Tabulka 3.1 Klasifikace opětovného použití

Možnosti	Opětovné využití In-situ	Přemístěno a znovu využito			
		Na stejném místě		Na jiném místě	
		Stejná konfigurace	Různá konfigurace	Stejná konfigurace	Různá konfigurace
Celá ocelová konstrukce	D _{0-A}	- ^a	-	D _{0-D} ^b	-
Demontovaná ocelová konstrukce	-	D _{I-B}	D _{I-C}	D _{I-D}	D _{I-E}
Vyrobené komponenty	-	D _{II-B}	D _{II-C}	D _{II-D}	D _{II-E}
Součásti	-	D _{III-B}	D _{III-C}	D _{III-D}	D _{III-E}

^a Scénář je nepravděpodobný, protože pokud by byla konstrukce dekonstruována, je nepravděpodobné, že by byla znovu postavena ve stejné konfiguraci na stejném místě.;

^b Pouze v případě budov s jedním podlažím.

V případě opětovného využití na místě (D_A) se komponenty nerozebírají a zůstávají připojeny k ocelové konstrukci. Tento přístup, označovaný jako dodatečná montáž, zahrnuje zachování stávající konstrukce, která může být opravena, vyztužena nebo potažena, aby se zabránilo demontáži a výměně a potenciálně se přizpůsobila různým podmínkám zatížení. Konstrukční odolnost a použitelnost musí být ověřeny v souladu s platnými normami. Tento konkrétní případ není tímto doporučením pokryt.

Přemístění opětovného využití (D_B na D_E) znamená, že komponenty jsou demontovány a repasovány na staveništi nebo v dílně. V mnoha případech je staveniště rekonstruováno a může být prospěšné zvážit integraci ocelových komponent předchozí budovy do nového projektu (D_B a D_C). Přemístění opětovného využití na jiné místo (D_D a D_E) lze zorganizovat prostřednictvím prodejce materiálu (v případě většího množství malých komponentů, jako jsou konstrukční díly), nebo lze o něm přímo domluvit účastníky procesu dekonstrukce a nové výstavby. U některých malých staveb, například modulárních, je možné budovu nebo její hlavní komponenty přemístit bez demontáže (D_0) na krátkou vzdálenost pomocí jeřábů nebo pásových vozidel.

Různé možnosti přepravních potřeb jsou uvedeny v tabulce 3.1, kde index „A“ znamená, že k opětovnému využití dochází na stejném staveništi a „B“ znamená, že komponenty vyžadují přepravu (např. mezi staveništi, k prodejci, skladu nebo dílně).

Plášť je obvykle nejsložitější část, kterou lze případně znovu použít. Pokud se jedná o skládaný plášť z trapézových plechů, je třeba věnovat pozornost všem vrstvám. Sendvičové panely lze znovu použít, pokud jsou otvory pro šrouby skryté, nebo znovu využít jinde. Zachování ochranných nátěrů je náročné, zejména při dlouhodobém opotřebením, znečištěním a působení UV zářením. U různých uspořádání lze sendvičové panely s novou vnější vrstvou znovu použít.

4 HISTORICKÝ PŘEHLED PRAXE A VÝROBKOVÝCH NOREM

Historie ocelových konstrukcí usnadňuje opětovné využití ocelových prvků a dalších komponent široce. Během 70. let 20. století, která jsou v rámci tohoto dokumentu považována za výchozí bod pro možné opětovné využití ocelové konstrukce, byly specificky pro jednotlivé země požadovány popisy chemického složení, fyzikálních a mechanických vlastností ocelových prvků. V roce 1961 byly založeny národní normalizační organizace v Evropě Comité Européen de Normalisation (Evropský výbor pro normalizaci, CEN) pro tvorbu a implementaci společných evropských norem. Přijaté normy byly využity jako národní normy každou členskou zemí CEN a všechny protichůdné národní normy byly zrušeny. V této publikaci se vychází z toho, že ocelová konstrukce, ze které mají být ocelové prvky recyklovány, byla původně navržena a specifikována na základě norem uvedených na obr. 4.1 nebo EN 1993. Navrhovalo se pomocí koncepce mezních stavů. Pravděpodobnost dosažení daného mezního stavu je pro všechny prvky v konstrukci víceméně konstantní a zároveň na požadované úrovni.

4.1 Prvky válcované za tepla

4.1.1 Výrobové normy

Označování ocelových výrobků v normě EN 1993 je v souladu s normou EN 10025-2:2019. [21]. Obr. 4.1 uvádí seznam odpovídajících dřívějších národních označení a dřívějších označení v normách EN 10025:1990 a EN 10025:1990+A1:1993, které byly nahrazeny vydáním z roku 2004 a později vydáním z roku 2019. Materiálové vlastnosti pro konstrukční ocel jsou definovány v článku 5.2.5 normy EN 1993-1-1 a tyto vlastnosti se časem nedegradují, tj. modul pružnosti všech jakostí ocelí je $E \leq 210\,000 \text{ N/mm}^2$, Poissonův poměr $\nu \leq 0,3$ a součinitel lineární tepelné roztažnosti $\alpha \leq 12 \times 10^{-6} \text{ na } ^\circ\text{C}$ při okolní teplotě. Konstrukční ocel je specifikována mezi kluzu (σ v $\text{N/mm}^2 = \text{MPa}$) a mezi mezí pevnosti v tahu. Mezi mezemi by měla být dostatečná rezerva, aby umožnila plasticitu a přerozdělení vnitřních sil po konstrukci. Běžné jakosti oceli jsou S235 (minimální normová hodnota pro návrh a vývoj konstrukčních vztahů v Eurokódech), S275 a S355.

Moderní konstrukční oceli obsahují malé množství uhlíku, obvykle 0,17 % pro S235 a 0,24 % pro S355 (ve třídách houževnatosti JR). Jejich vyšší pevnosti se dosahuje legurami, např. manganu, niklu a niobu, které příznivě ovlivňují mechanické vlastnosti, např. tažnost, houževnatost a svařitelnost. Tažnost lze zlepšit snížením obsahu síry a houževnatost přidáním niklu.

Chemické a mechanické vlastnosti se zaznamenávají v certifikátech o zkoušce jako součást běžných postupů kontroly kvality výrobce oceli a jak je uvedeno ve specifikacích pro výrobu ocelových výrobků. Je třeba si uvědomit, že specifikace produktu jsou souborem požadavků, které je třeba splnit, a nejedná se o označení pro konkrétní typ oceli.

Rakousko		Belgie	Belgie	Francie	Německo	Itálie	Holandsko	Norsko	Portugalsko	Rumunsko	Španělsko	Švédsko	VB		
Výrobní normy: Ekvivalentní označení odpovídající normě EN 10025-2															
EN 10025-2:2004	EN 10025:1990	EN 10025:1990	M 3116	NBN A 21-101	SFS 200	NF A 35-501	DIN 17100	UNI 7070	Euronorm 25-72	DIN 17100	NP 1729	STAS 5002/2-76	UNE 36-080	SS 14 followed by number steel grade	BS 4360
	+A1:1993														
S235JR	S235JR	Fe 360 B	AE 235-B	E 24-2	SI 37-2	Fe 360 B	Fe 310 0	SI 37-2	Fe 360-B	OL37-1/1a/1b	Fe 360-B	OL37-1/1a/1b	AE 235 B-FU	13 11-00	
S235JRG1	S235JRG1	Fe 360 B-FU	USI 360 B	USI 37-2	USI 37-2	Fe 360 A	Fe 360 A	USI 37-2	Fe 360-B	OL37-2	Fe 360-B	OL37-2	AE 235 B-FN	13 12-00	40 B
S235JRG2	S235JRG2	Fe 360 B-FN	RSI 360 B	RSI 37-2	RSI 37-2	Fe 360 B-FU	Fe 360 B-FU	RSI 37-2	Fe 360-B	OL37-2	Fe 360-B	OL37-2	AE 235 C	40 C	
S235J0	S235J0	Fe 360 C	AE 235-C	E 24-3	SI 37-3 U	Fe 360 C	Fe 360 B-FN	SI 37-3 U	Fe 360-C	OL37-3k/3kf	Fe 360-C	OL37-3k/3kf	AE 235 D	40 D	
S235J2	S235J2G3	Fe 360 D1	AE 235-D	E24-4	SI 37-3 N	Fe 360 D	Fe 360 CFN	SI 37-3 N	Fe 360-D	OL37-4kf	Fe 360-D	OL37-4kf			
S275JR	S275JR	Fe 430 B	AE 255-B	E 28-2	SI 44-2	Fe 430 B	Fe 430 A	SI 44-2	Fe 430-B	OL44-2k	Fe 430-B	OL44-2k	AE 275 B	43 B	
S275J0	S275J0	Fe 430 C	AE 255-C	E 28-3	SI 44-3 U	Fe 430 C	Fe 430 B-FN	SI 44-3 U	Fe 430-C	OL44-3k/3kf	Fe 430-C	OL44-3k/3kf	AE 275 C	43 C	
S275J2	S275J2G3	Fe 430 D1	AE 255-D	E 28-4	SI 44-3 N	Fe 430 D	Fe 430 CFN	SI 44-3 N	Fe 430-D	OL44-4kf	Fe 430-D	OL44-4kf	AE 275 D	43 D	
S355JR	S355JR	Fe 510 B	AE 355-B	E 36-2	SI 52-3 U	Fe 510 B	Fe 510 B-FN	SI 52-3 U	Fe 510-B	OL52-2k	Fe 510-B	OL52-2k	AE 355 B	50 B	
S355J0	S355J0	Fe 510 C	AE 355-C	E 36-3	SI 52-3 N	Fe 510 C	Fe 510 CFN	SI 52-3 N	Fe 510-C	OL52-3k/3kf	Fe 510-C	OL52-3k/3kf	AE 355 C	50 C	
S355J2	S355J2G3	Fe 510 D1	AE 355-D	E 36-4	SI 52-3 N	Fe 510 D	Fe 510 D-FN	SI 52-3 N	Fe 510-D	OL52-4kf	Fe 510-D	OL52-4kf	AE 355 D	50 D	
S355K2	S355K2G3	Fe 510 DD1	AE 355-DD				Fe 510 DDFN		Fe 510-DD		Fe 510-DD			50 DD	
S355K2	S355K2G4	Fe 510 DD2													
Normy pro navrhování ocelových konstrukcí: Ekvivalentní dřívější označení odpovídající normě EN 1993															
EN 1993:2005	ENV 1993-1-1:1992	ÓNORM B 4300	Rakennus-määräys-kokoelma B7	Règles CM66	DIN 1880		NEN 6770, part 2 (1997-2012) NEN 6770, part 1 (1990-1997) NEN 3851 (1972-1990) N 1055 (1955-1972)	NS 3472: 1984 NS 3472: 2001	REAE, Decreto n.º 46160	STAS101080-78	NBE MV 10X and 11X series (before 1996) NBE EA-95 (after 1996)	BSK 99 Handbooks SIBK-NX, X = 1, 2, 3, 4, 5	BS 5950 (after 1985) BS 449 (before 1985)		

Obr. 4.1 Národní normy pro výroby a konstrukční návrhy před rokem 2004

Široce používané jakosti ocelí S235, S275 a S355 splňují běžné normy od 70. let 20. století a mají srovnatelné vlastnosti s konstrukčními oceli běžně používanými dnes. Pokud je za tepla válcovaný výrobek označen jako shodný s jinou specifikací, rozdíl může být pouze v typu a rozsahu zkoušek požadovaných touto specifikací. Bližší zkoumání ukáže, zda konstrukční prvky splňují požadavky uživatele.

4.1.2 Praxe a návrhové normy

První evropská norma pro navrhování ocelových konstrukcí byla vydána v roce 1992 jako předběžná norma ENV 1993-1-1 [48]. Sloužila jako rámec pro přípravu harmonizovaných národních norem v jednotlivých evropských zemích. Národní harmonizované normy byly používány ve spojení s národním aplikačním dokumentem (NAD) platným v zemi, kde se budova nacházela. Později byly ENV převedeny na evropskou normu (EN), EN 1993 nebo Eurokód 3, a NAD se staly národními přílohami (NA). Od 2005 až 2010 jsou byly Eurokódy široce používány ve všech evropských zemích a nahradily všechny národní normy pro navrhování konstrukcí (viz Obr. 4.1). Eurokódy zajišťují spolehlivost konstrukcí v celé EU.

Důležitou součástí Eurokódu 3 je jeho spojení s normami pro výrobu, které zajišťují označení CE a naplňují Nařízení o stavebních výrobcích (CPR) [49].

4.2 Konstrukční oceli tvářené za studena

Evropská doporučení pro návrh tenkovrstvých ocelových prvků. [51] vytvořil roce 1987 výbor ECCS TC7. N něho vzniklo první ENV 1993-1-3:1996 [52]. Doporučení bylo dále rozpracováno a publikováno v roce 2006 jako evropská norma Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí. Část 1-3: Obecná pravidla. Doplnková pravidla pro tenkovrstvé prvky a plechy tvarované za studena [16]. Norma EN 1993-1-3:2006 představuje jednotnou evropskou normu pro návrh ocelových konstrukcí tvářených za studena. Obsahuje ustanovení specifická pro konstrukční aplikace s využitím ocelových výrobků tvářených za studena vyrobených z tenkých plechů a pásů válcovaných za tepla nebo za studena s povlakem nebo bez povlaku. Je určena k využití pro návrh budov nebo inženýrských staveb ve spojení s normami EN 1993-1-1 a EN 1993-1-5. Norma EN 1993-1-3 povoluje pouze návrh s využitím metody mezních stavů (LSD).

EN 1993-1-3 v kapitole 10 obsahuje konstrukční kritéria pro aplikace:

- nosníky podepřené plechy,
- vodorovné příčníky podepřené plechy,
- návrh s pláštěm budovy a
- děrované plechy.

Technologie tváření za studena umožňuje výrobu průřezů na míru. Analýza a konstrukční návrh neobvyklých prvků mohou být složité. Konstrukční systémy tvořené různými za studena tvarovanými průřezy spojenými dohromady, např. vaznice a plechy, mohou vést ke složitým návrhovým situacím, které nejsou zcela pokryty návrhovými normami. Numerická analýza metodou konečných prvků (FEM) je alternativou pro návrh. V mnoha praktických situacích může být modelování komplikované. U takových složitých návrhových problémů umožňují moderní návrhové normy využití zkušebních postupů k vyhodnocení

konstrukčních vlastností. Zkoušky lze použít k nahrazení návrhu založeného na výpočtech nebo v kombinaci s výpočty. Pouze akreditované laboratoře mohou zkoušky provádět a vydávat příslušnou certifikaci.

5 HODNOCENÍ VYUŽITELNOSTI

Opětovné využití většiny konstrukčních prvků, sestav nebo základních produktů lze odhadnout během auditu před demolicí. To výrazně ovlivní plánování dekonstrukce, včetně nástrojů a technik na staveništi. Obecná pravidla pro audit jsou uvedena v novém protokolu EU o nakládání se stavebním a demoličním odpadem, včetně pokynů pro audit stavebních prací před demolicí a rekonstrukcí [50]. Konkrétní pokyny pro ocelové konstrukce poskytuje projekt PROGRESS v protokolu auditu před dekonstrukcí (kapitola 3 [42]).

5.1 Parametry

Důležitým aspektem při hodnocení konstrukční oceli pro opětovné využití je, aby po recyklaci z předchozího využití nedošlo ke zhoršení vlastností. Konstrukční prvky by proto neměly mít významné nedokonalosti ani trvalé deformace, ani lokální poškození, včetně plastických deformací, a zmenšené průřezy (např. průchozí otvory, otvory, trhliny nebo nadměrná koroze) a neměly by být vystaveny extrémním událostem, jako je náraz nebo únava materiálu, ani by neměly být poškozeny ohněm.

Zhoršení vlastností je snížení materiálových vlastností a/nebo rozměrů v důsledku expozičních podmínek. Například ocelový prvek může za nepříznivých expozičních podmínek trpět korozi, která snižuje jeho geometrické vlastnosti. Vada je snížení konstrukční únosnosti v případech, kdy zatížení překročilo konstrukční únosnost, nebo v důsledku lokálního nárazu, vrtání nebo svařování na konstrukční vlastnosti. Poškození je důsledkem extrémního zatížení, které nebylo možné rozumně předvídat ani na něj navrhovat, např. extrémní seismické zatížení, náraz (např. od vozidla), výbuch nebo exploze.

Ocel nepodléhá velkým změnám v důsledku stárnutí, s výjimkou povrchové koroze a možného vlivu nepružných deformací. Korozi lze bránit vhodnou formou ochrany, která zahrnuje přípravu a aplikaci povrchových nátěrových systémů nebo kovových povlaků pomocí žárového stříkání nebo zinkování.

Stárnutí materiálu je postupné zhoršování, v důsledku času nebo používání, především mechanických a fyzikálních vlastností. Jsou dva základní typy stárnutí: tepelné stárnutí – křehnutí a deformační stárnutí. Tepelné stárnutí – křehnutí představuje proces změny vlastností materiálu v důsledku rozpadu přesyceného pevného feritového roztoku po dlouhou dobu bez jakéhokoli vnějšího mechanického zatížení. K tomu může docházet zejména u nízkouhlíkové oceli, konkrétně do 0,2 % uhlíku, a postupně vede ke snížení tažnosti, vrubové houževnatosti a lomové houževnatosti materiálu, ke zvýšení teploty přechodu a ke zvýšení dolní a horní meze vrubové houževnatosti. Deformační stárnutí označuje proces spočívající ve změnách vlastností materiálu po a/nebo během plastické deformace. Jsou dva typy deformačního stárnutí: statické deformační stárnutí, např. sedání základů, kde se vlastnosti materiálu mění po plastické deformaci prvků, a dynamické deformační stárnutí, např. po rozsáhlých seismických událostech, kdy se vlastnosti materiálu během vysoké deformace rychle mění. Stárnutí v důsledku deformace ovlivňuje mechanické vlastnosti v tom smyslu, že mez kluzu měřená po stárnutí je vyšší, ale tažnost

v lomu se snižuje. Tyto dva jevy se často uvažují v kombinaci, a proto se termín stárnutí často používá zaměnitelně.

Únava materiálu je definována jako proces cyklického hromadění poškození v materiálu, který je vystaven kolísajícímu napětí a deformaci. Významným rysem únavy je, že zatížení není dostatečně vysoké, aby způsobilo okamžité selhání. K selhání dochází po určitém počtu kolísání zatížení, tj. poté, co nahromaděné poškození dosáhne kritické úrovně. Například nosníky jeřábových ramp jsou konstrukce náchylné na únavu.

Za určitých okolností může ocel téct v důsledku pomalých plastických deformací při zvýšené teplotě, obvykle během požáru. Mez pevnosti v tečení v rozsahu teplot, kde se tečení projevuje, je nižší než mez kluzu materiálu.

5.2 Obecný přístup

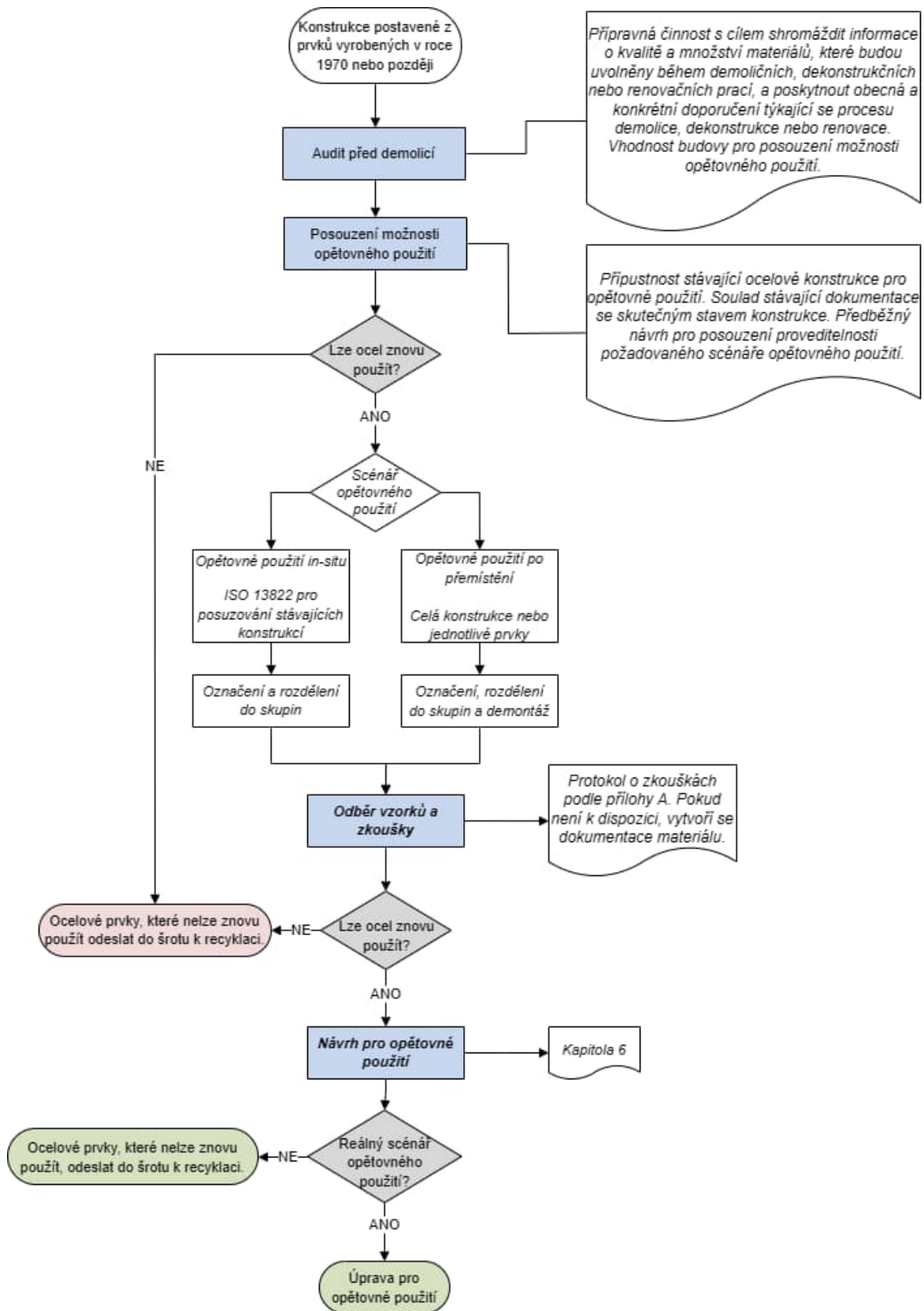
Proces regenerace pro opětovné využití ocelových komponentů je shrnut ve vývojovém diagramu v obr. 5.1.

Rozsah je omezen na budovy postavené z prvků vyrobených po roce 1970, aby materiály obecně odpovídaly moderním specifikacím výrobků a metodám návrhu mezních stavů uvažovaným v současných normách.

Pokud je budova pro recyklaci primární ocelové konstrukce a případně jejích sekundárních prvků a opláštění k dispozici, měl by být před demontáží budovy proveden audit před dekonstrukcí. To umožní identifikaci stavebních prvků, které lze znovu použít. Audity před dekonstrukcí jsou popsány v části 3 této příručky.

Na základě této počáteční inspekce budovy je vydáno doporučení, zda lze ocelové prvky znovu použít, nebo zda je vhodnější variantou demolice. Pokud lze ocelové výrobky recyklovat, je důležité definovat očekávaný scénář opětovného využití. V případě přemístění recyklace lze rozhodnout o potenciálním opětovném využití celé konstrukce nebo jejích jednotlivých prvků. Pokyny k hodnocení opětovného využití recyklovaných prvků jsou uvedeny v části 5.1. Materiály by poté měly být vzorkovány a v případě potřeby testovány podle protokolu v Dodatku A. Konstrukční znovupoužití stávajících prvků se poté vyhodnotí podle výsledků zkoušek.

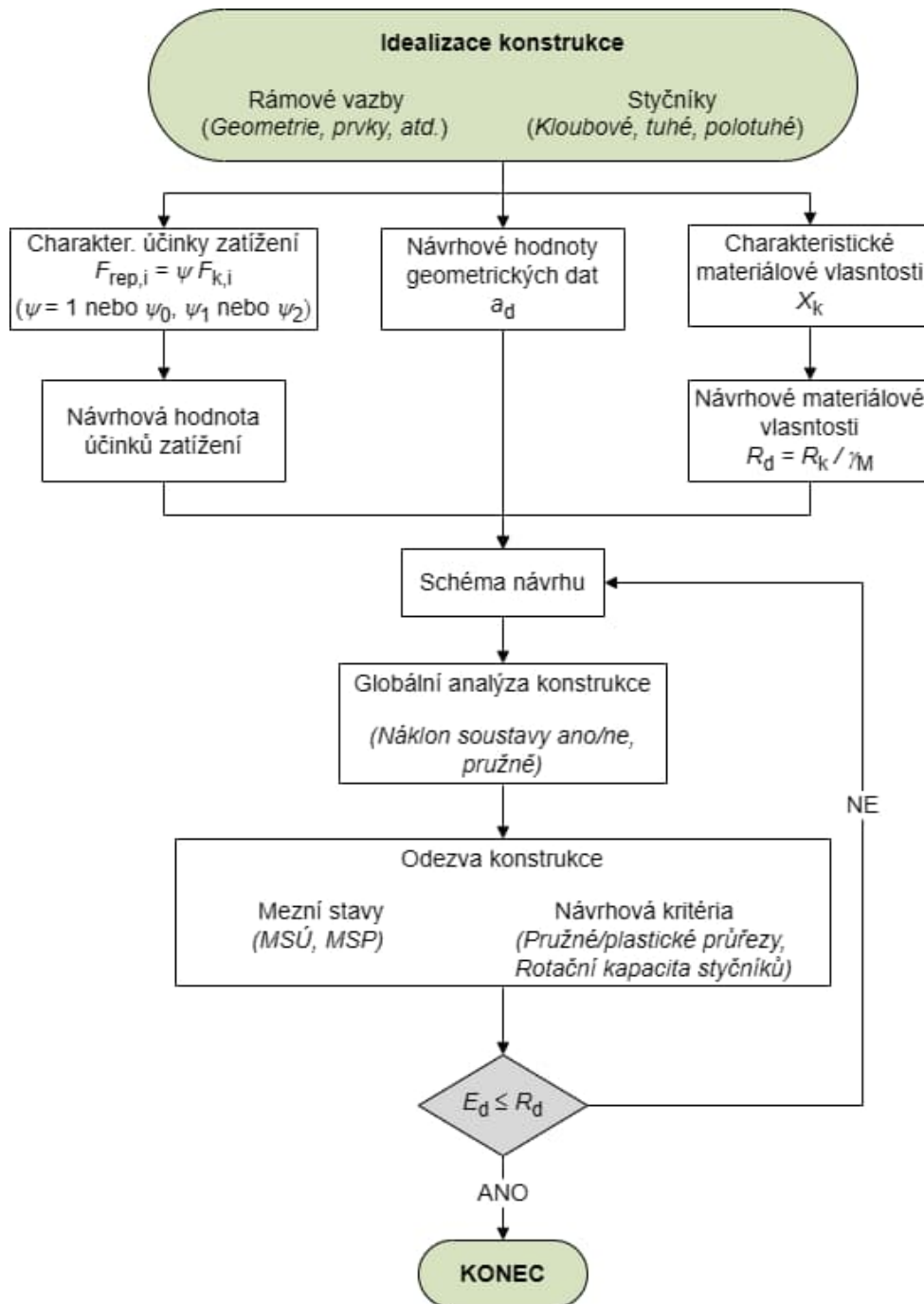
Pokud je opětovné využití schůdnou možností na základě rozměrů, kvality a množství recyklovaných prvků, lze konstrukci budovy demontovat a všechny prvky označit a dávkovat. Prvky je často třeba vyčistit, aby se odstranily nátěry a nahromaděné nečistoty, nebo podrobit jiným repasovaným procesům. Nakonec se provede konstrukční návrh a ověření recyklovaných ocelových prvků a dalších komponent pro zvolený scénář opětovného využití, viz kapitola 6.



Obr. 5.1 Celkový postup: od regenerace přes opětovné využití až po návrh ocelových výrobků

5.3 Návrh

Návrh konstrukcí vyrobených z recyklovaných ocelových prvků se řídí stejnými principy návrhu a ověřování mezních stavů s využitím metody parciálních součinitelů jako u „nových konstrukcí“. Existují však některá další pravidla a ustanovení, která jsou uvedena v této části dokumentu. Specifická ustanovení pro kontrolu konstrukční integrity jsou odvozena ze zásad konstrukční spolehlivosti [9]. Obr. 5.2 poskytuje přehled filozofie návrhu založené na Eurokódech.



Obr. 5.2 Návrh nosné konstrukce

Přístup k návrhu závisí na typu konstrukce a smluvní roli projektanta (klientem nebo hlavním dodavatelem):

- Projektant zvolí vhodné schéma nosné konstrukce na základě prostorových požadavků budovy.
- Zpracují se návrhové hodnoty účinků zatížení na základě příslušných norem a geometrie budovy.
- Pro ocelové konstrukční prvky se stanoví návrhové hodnoty pevnosti materiálu, viz kapitola 5.4.1.
- Na základě těchto vstupních informací se dokončí koncepční návrh konstrukce a klientovi se představí možnosti řešení.
- V této fázi se ukáže, zda lze využít recyklované prvky.
- Konečný návrh konstrukce se provede podle zpětné vazby klienta k navrhovanému koncepčnímu návrhu;
- Projektant rozhodne o typu statické analýzy, která se použije. Pro návrh s využitím recyklovaných ocelových konstrukcí se doporučuje použít elastickou globální analýzu;
- Pro stanovení odezvy konstrukce se ověří mezní stavy konstrukce. Ty zahrnují kontrolu mezních stavů použitelnosti (SLS), tj. průhybů rámu a prvků za podmínek provozního zatížení, a únosnosti (ULS), tj. únosnosti prvků a stability prvků a rámu.

Pokud konstrukce nespĺňuje nové konstrukční požadavky, je třeba konstrukční systém odpovídajícím způsobem upravit nebo zesílit.

5.4 Návrh na opětovné využití

Recyklovaná konstrukční ocel může být použita v návrhu v souladu s ustanoveními normy EN 1993. Pro zajištění souladu s touto konstrukční normou by materiál měl splňovat specifické požadavky, které jsou popsány níže.

Definice konstrukční oceli je v tomto kontextu ocel z prvků vyrobených z průřezů válcovaných za tepla a jejich koncových spojů, včetně příhradových nosníků vyrobených z válcovaných prvků. Do této definice mohou být zahrnuty i svařované prvky, jako jsou svařované nosníky. Často jsou tyto prvky navrženy pro specifické podmínky zatížení, pokud jde o velikost svaru, výztuhy stojiny atd. Pak vyžadují ověření pro konkrétní scénář opětovného využití. Prvky vyrobené z ocelových průřezů tvarovaných za studena lze také znovu použít bez úprav nebo v zkrácených délkách.

Norma CEN/TS 1090-201:2024 [2] doplňuje ustanovení k EN 1090-2 pro posuzování a zkoušení recyklovaných konstrukčních prvků pro realizaci ocelových konstrukcí do EXC3 (viz EN 1090-2). Ustanovení normy CEN/TS 1090-201:2024 se vztahují na výrobky používané v konstrukcích, které mají být navrženy, viz EN 1993-1-1, pro kvazistatické

zatížení a nejsou vystaveny únavovému zatížení. Dokument stanoví požadavky na hodnocení recyklovaných konstrukčních prvků a jejich součástí. Zahrnuje také obecné posouzení opětovného použití, posouzení kvality plechů, za tepla válcovaných průřezů a za tepla tvářených nebo za studena tvarovaných dutých průřezů z uhlíkové oceli.

Posouzení kvality zahrnuje stanovení a deklaraci mechanických a geometrických vlastností a svařitelnosti. Tyto vlastnosti jsou uvedeny jako vlastnosti, které je nutné specifikovat pro nestandardní výrobky podle článku 5.1 normy EN 1090-2. Rozměry a tolerance všech recyklovaných výrobků musí být změřeny a zdokumentovány. Součást lze deklarovat s odkazem na normový průřez, pokud jsou splněny všechny geometrické požadavky. Mechanické vlastnosti lze zkoumat nedestruktivním zkoušením tvrdosti. Relevantní vlastnosti se získají jednou nebo několika destruktivními zkouškami. Výsledky se přiřadí všem členům zkušební jednotky. Pak lze ocel deklarovat podle jakostí definovaných v výrobních normách.

Dokument se nevztahuje na průřezy a plechy z konstrukční oceli tvarované za studena, jak je popsáno v EN 1090-4, ani na mechanické spojovací prvky.

Dokument [53] nastiňuje otázky návrhu nových konstrukcí s recyklovanou konstrukční ocelí podle normy EN 1993, včetně rozsahu, návrhu a akčních plánů. Rozsah zahrnuje návrh komponent z recyklované konstrukční oceli pro opětovné využití, pouze konstrukční prvky. Navrhuje také osm kroků následného procesu a jsou uvedeny podrobné popisy příslušných kroků procesního řetězce (kroky PC).

5.4.1 Klasifikace recyklovaných ocelových konstrukcí

V rámci projektu RFCS PROGRESS [54] byla recyklovaná ocel klasifikována podle ověření požadavků na její materiálové vlastnosti (posouzení přiměřenosti) a požadavků na zajištění kvality (posouzení spolehlivosti) do následujících tříd:

- **Třída A** ocelové materiály, které splňují požadavky na vlastnosti a se schváleným zajištěním kvality z původních certifikátů;
- **Třída B** ocelové materiály, které splňují všechny požadavky na vlastnosti prostřednictvím komplexního testování materiálů (viz Dodatek A) a se schváleným zajištěním kvality, tj. certifikáty o shodě s příslušnými evropskými normami výrobků, prostřednictvím opětovné certifikace;
- **Třída C** ocelové materiály klasifikované jako nejkonzervativnější třída podle stáří a umístění konstrukce (neidentifikovaná ocel).

Posouzení přiměřenosti má za cíl odůvodnit nezbytné/požadované materiálové vlastnosti podle normy pro materiál/výrobek nebo podle článku 5.1 normy EN 1090-2, zatímco posouzení spolehlivosti má za cíl odůvodnit, že jsou splněny požadavky na spolehlivost pro návrhové postupy podle Eurokódů.

Později CEN/TS 1090-201:2024 [2] navrhl čtyři zkušební protokoly, A až D. Požadované destruktivní testování je upraveno na základě informací shromážděných během prospekce. Doporučení pro volbu konkrétního protokolu jsou uvedena níže a ilustrována v obr. 5.3. Původ oceli by měl být považován za známý, pokud je známa alespoň zeměpisná poloha, rok výroby a předchozí funkce součástí. Zahrnuty jsou dva typy konstrukční oceli, tj. typ 1 a typ 2.

U konstrukční oceli typu 1 lze očekávat mechanické vlastnosti a svařitelnost podobné jako u ocelí podle evropských norem uvedených v bodě 5.3 normy EN 1090-2:2018+A1:2024. Variabilita jejich mechanických vlastností se může předpokládat v souladu s přílohou E normy EN 1993-1-1. Výrobky získané z konstrukcí postavených z prvků vyrobených v roce 1970 nebo později se považují za výrobky vyrobené z moderní oceli, tzv. oceli typu 1.

U konstrukční oceli typu 2 nelze variabilitu vlastností spolehlivě předpokládat a je třeba provést další zkoušky a statistickou analýzu výsledků podle protokolu C v bodě 5.3.4.5 normy CEN/TS 1090-201:2024.

Konstrukční prvky neznámého původu se nesmí seskupovat do zkušebních jednotek a je vyžadováno komplexní testování podle protokolu D v bodě 5.3.4.6 normy CEN/TS 1090-201:2024.

5.4.2 Požadavky na materiál

Norma EN 1090-2 pro provádění ocelových konstrukcí (tj. výrobu a montáž) umožňuje specifikaci oceli a profilů, na které se nevztahují evropské normy pro jednotlivé výrobky. Následující mechanické vlastnosti musí být stanoveny podle článku 5.1 normy EN 1090-2. [8]:

- Mez kluzu f_y , a mez pevnosti f_u ,
- Protážení při přetržení ϵ_t , které informuje o deformaci materiálu,
- Dodací podmínky po tepelném zpracování.
- Třída oceli by měla být v rozmezí S235 až S700. Požadavky na tažnost pro návrh dle EN 1993-1-1 jsou uvedeny v tabulce 5.1 (doporučené hodnoty, které mohou být upraveny národními dodatky).

Tabulka 5.1 Požadavky na tažnost (doporučené hodnoty CEN)

	Poměr meze pevnosti a meze kluzu f_u/f_y	Prodloužení při přetržení
Pro plastickou globální analýzu	≥ 1.10	$\geq 15 \%$
Pro elastickou globální analýzu	≥ 1.05	$\geq 12 \%$

Norma EN 1090-2 rovněž uvádí, že charakterizace následujících vlastností může být vyžadována, i když není povinná:

- snížení napětí,
- rázová houževnatost,
- požadavky na kvalitu po tloušťce (z-kvalita),
- meze vnitřních nespojitostí nebo trhlin ve svařovaných oblastech.

Pokud se předpokládá svařování konstrukce vyrobené z recyklované oceli, musí být pro využití při přípravě specifikace svařovacího postupu stanoveno chemické složení. Existují velmi jednoduché nedestruktivní zkušební techniky pro stanovení složení oceli, jako je technika pozitivní identifikace kovu (viz dodatek A). Vyžaduje se také úplná charakterizace

chemického složení a recyklovaný materiál je třeba charakterizovat, protože neexistují originální certifikáty. Svařitelnost oceli se deklaruje následovně [8]:

- klasifikace podle seskupování materiálů definovaného v normě CEN ISO/TR 15608 [55], nebo
- maximální limit pro uhlíkový ekvivalent, nebo
- dostatečně podrobné prohlášení o chemickém složení pro výpočet uhlíkového ekvivalentu.

5.4.3 Zajištění kvality

Recyklovaná ocel musí splňovat požadavky na kvalitu, aby mohla být charakterizována pro využití v konstrukčním návrhu na základě normy EN 1993. Hlavní otázka, na kterou je třeba odpovědět, je: „Podle které konkrétní normy výrobku byl materiál vyroben?“, aby se ověřila shoda, kvalita a sledovatelnost výrobku. Sledovatelnost materiálu je schopnost zpětně vysledovat zdroj konkrétního ocelového materiálu až k jeho původní identitě, jak byl dodán z ocelárny, a to prostřednictvím řádného systému identifikace a zajištění kvality. Dodavatelé a výrobci, kteří hodlají recyklovat konstrukční ocelové materiály, musí zavést interní systém zajištění kvality, aby byla zajištěna sledovatelnost těchto materiálů. Každý ocelový prvek musí být označen jedinečným identifikačním číslem, pro které jsou zavedeny a zaznamenány kontroly kvality. Taková jedinečná identifikace usnadní budoucí odkazování na certifikát řízení výroby v závodě, certifikát o zkoušce výrobce, inspekční záznam a/nebo zkušební protokol bez nejasností.

Pokud jsou k dispozici certifikáty ocelárny, lze zpětně vysledovat komponenty z recyklované oceli a ověřit, zda splňují příslušné specifikace a požadavky na materiál.

Nové ocelové materiály jsou dodávány s platným prohlášením o vlastnostech (DoP) a certifikátem o zkoušce výrobce na základě dodací specifikace. Opětovné využití materiálu je naopak povoleno s uspokojivým ověřením jeho opětovné použitelnosti.

5.4.4 Vlastnosti oceli pro za tepla válcované prvky z recyklované oceli

Část shrnuje vlastnosti oceli, které je třeba posoudit u recyklovaných válcovaných ocelových prvků podle článku 5.1 normy EN1090-2 (včetně dutých průřezů – tabulka 5.2). K těmto vlastnostem je uveden další komentář.

Pevnost

Mez kluzu a pevnost v tahu by měly být stanoveny a vyhodnoceny podle dodatku A. Deklarovaná mez kluzu a pevnost v tahu pro recyklovanou konstrukční ocel, která má být použita pro návrh, musí být definována podle jakosti oceli specifikované referenční produktovou normou (např. S275), která zajišťuje požadavky na spolehlivost (viz dodatek A).

Protážení

Použití recyklované oceli je omezeno na aplikace, kde není vyžadována významná tažnost (tj. elastická globální analýza, nepoužití v primárním seismickém systému; návrh DCL). Protážení však musí být posouzeno podle článku 5.1 normy EN 1090-2, což je třeba určit

destruktivní zkouškou tahem. Na základě historických údajů neexistují obavy, že konstrukční ocel recyklovaná z budov postavených po roce 1970 nebude splňovat konstrukční požadavky podle Eurokódu 3, tabulka 5.1, [56] až [58]. Minimální požadavek na prodloužení pro recyklovanou ocel je převzat z tabulky 5.1 a nikoli z referenční normy.

Tabulka 5.2 Materiálové vlastnosti, které mají být deklarovány podle článku 5.1 normy EN 1090-2

Vlastnost	K deklaraci	Postup
Pevnost (mez kluzu a pevnost v tahu)	Ano	Stanoveno destruktivními a nedestruktivními zkouškami. Stanoveno destruktivními zkouškami. Obecně se nevyžaduje deklarace. Na základě rozměrového průzkumu. Je-li vyžadováno, stanoveno destruktivními zkouškami. Konzervativní předpoklad jako výchozí. Konzervativní předpoklad jako výchozí. Obecně se nevyžaduje deklarace. Obecně se nevyžaduje deklarace.
Protážení	Ano	Stanoveno destruktivními a nedestruktivními zkouškami. Stanoveno destruktivními zkouškami. Obecně se nevyžaduje deklarace. Na základě rozměrového průzkumu. Je-li vyžadováno, stanoveno destruktivními zkouškami. Konzervativní předpoklad jako výchozí. Konzervativní předpoklad jako výchozí. Obecně se nevyžaduje deklarace. Obecně se nevyžaduje deklarace.
Redukce napětí dle požadavků na plochu (STRA)	Pokud je vyžadováno	Stanoveno destruktivními a nedestruktivními zkouškami. Stanoveno destruktivními zkouškami. Obecně se nevyžaduje deklarace. Na základě rozměrového průzkumu. Je-li vyžadováno, stanoveno destruktivními zkouškami. Konzervativní předpoklad jako výchozí. Konzervativní předpoklad jako výchozí. Obecně se nevyžaduje deklarace. Obecně se nevyžaduje deklarace.
Tolerance rozměrů a tvaru	Ano	Stanoveno destruktivními a nedestruktivními zkouškami.
Rázová houževnatost nebo houževnatost	Pokud je vyžadováno	Konzervativní předpoklad jako výchozí.
Dodací podmínky tepelného zpracování	Ano	Konzervativní předpoklad jako výchozí.

Vlastnost	K deklaraci	Postup
Požadavky na tloušťku v celé tloušťce (Z-kvalita)	Pokud je vyžadováno	Obecně se nevyžaduje deklarace.
Meze vnitřních nespojitostí nebo trhlin ve svařovaných zónách	Pokud je vyžadováno	Obecně se nevyžaduje deklarace.
<i>Pokud má být konstrukce svařována, musí být její svařitelnost deklarována:</i>		
Vlastnost	Deklaruje se	Postup
Klasifikace v souladu se systémem seskupování materiálů definovaným v normě CEN ISO/TR 15608, nebo	-	Nevztahuje se na recyklované ocelové konstrukce.
Maximální limit pro uhlíkový ekvivalent oceli, nebo;	Ano	Maximální hodnota bude uvedena v certifikátech výrobce.
Dostatečně podrobná deklarace jejího chemického složení pro výpočet uhlíkového ekvivalentu	Ano	Stanoveno nedestruktivními a destruktivními zkouškami.

Tolerance rozměrů a tvaru

Recyklované prvky lze z hlediska geometrických tolerancí kontrolovat podle příslušné normy produktu, viz tabulka 5.4. Prvky v rámci povolené tolerance jsou přijatelné a splňují předpoklady uvedené v konstrukční normě. Neexistuje žádné omezení pro využití recyklovaných ocelových konstrukcí s rozměry na míru, tj. prvků, pro které tolerance z tabulky 5.4 nejsou splněny, pokud návrh zohledňuje naměřené vlastnosti průřezu, nikoli tabulkové standardní velikosti průřezů. Imperfekce prohnutí a průřezu prvku (jako je nerovnost nebo nerovnost) musí stále splňovat požadavky normy EN 1090-2.

Požadavky na tloušťku

U recyklovaných profilů, jako jsou nosníky nebo sloupy, se obecně nevyžadují vlastnosti protažení po tloušťce. Ale některé detaily/komponenty spojů mohou vyžadovat, aby ocelový plech měl specifické vlastnosti protažení po tloušťce [62]. Pokud jsou požadovány vlastnosti po tloušťce, musí být plech zkoušen dle normy EN 1993-1-10 [18].

Rázová houževnatost nebo houževnatost

Rázová houževnatost nebo houževnatost (známá jako Charpyho hodnota) může být vyžadována pro konkrétní projekt, například pro silné, vysoce namáhané ocelové konstrukce, zejména při vystavení nízkým teplotám. U vnitřních ocelových konstrukcí, které nejsou vystaveny únavě, lze přijmout konzervativní předpoklad o houževnatosti materiálu, což znamená, že lze předpokládat minimální hodnotu rázové houževnatosti Charpyho ve tvaru V 27 J při 20 °C, pokud se neprovedou žádné zkoušky (podklad JR).[56] až [58]. Pokud je třeba stanovit houževnatost materiálu, jsou vyžadovány destruktivní zkoušky v souladu s příslušnou normou (viz dodatek A).

Dodací podmínky tepelného zpracování

Podmínky tepelného zpracování mají vliv například na velikost zrna, zbytková napětí atd. Pro účely tohoto dokumentu bude mít tato podmínka důsledky pro recyklované duté průřezy. Duté průřezy pro konstrukční využití se tvářejí za studena podle EN 10219 nebo tvářejí za tepla podle EN 10210. Podmínky tepelného zpracování ovlivní úroveň zbytkových napětí v dutém profilu, což bude mít dopad na vzpěrnou únosnost prvku. Vzhledem k tomu, že měření této vlastnosti není ekonomické, doporučuje se, aby všechny recyklované duté průřezy byly považovány za tvářené za studena podle EN 10219.

Prohlášení o chemickém složení

Chemické složení je nezbytné pro stanovení trvanlivosti a svařitelnosti recyklované konstrukční oceli. Je nutné prohlášení o chemickém složení na základě zkoušek (viz dodatek A). Chemické složení musí měřit určité chemické prvky podle příslušné referenční výrobní normy (EN 10025-2/3/4, bod 7.2 nebo EN 10219-1, bod 6.6), z nichž lze vypočítat hodnotu uhlíkového ekvivalentu (CEV).

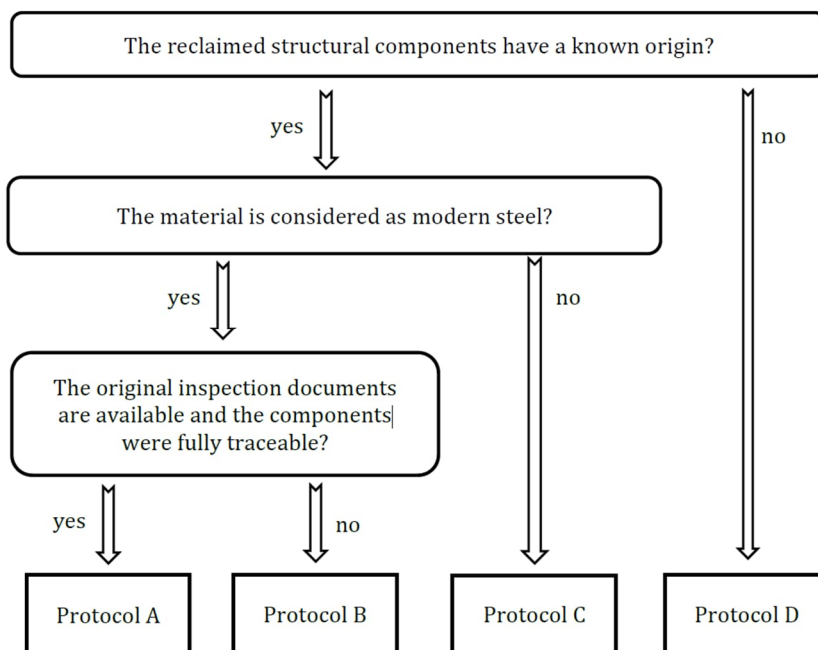
5.4.5 Posouzení materiálových vlastností

Recyklovaná ocel se obecně posuzuje z hlediska přiměřenosti a spolehlivosti, které spolu úzce souvisejí. Ocel je obvykle třeba posoudit, tj. skutečné vlastnosti materiálu musí být vyhodnoceny podle požadavků na kvalitu materiálu. Pokud podklady neexistují, musí být provedeny zkoušky materiálu s využitím vhodných metod odběru vzorků a zkoušek, aby se prokázala přiměřenost materiálu. Posouzení spolehlivosti má zajistit, aby ocelové výrobky byly vyráběny v rámci přísného systému zajištění kvality a aby splňovaly požadavky na zajištění kvality.

Materiály lze klasifikovat po dokončení těchto posouzení, která jsou vzájemně propojena, podle výše navrženého systému a v souladu s vývojovým diagramem uvedeným na obr. 5.3. Klasifikace je nezbytná k určení, zda lze recyklovaný materiál povolit pro konstrukční využití podle normy EN 1993 s omezeními či bez nich.

Čtyři protokoly [2], A až D, jsou definovány pro posouzení materiálových vlastností:

- **Protokol A:** Dokumentace k dispozici (konstrukční ocel typu 1 s originálními dokumenty o kontrole);
- **Protokol B:** DT jednoho vzorku (konstrukční ocel typu 1 se známým původem);
- **Protokol C:** Statisticky reprezentativní DT (konstrukční ocel typu 2 se známým původem);
- **Protokol D:** Komplexní DT (konstrukční ocel s neznámým původem).



Obr. 5.3 Vývojový diagram pro výběr zkušebního protokolu [2]

Protokol A: Dostupná dokumentace (konstrukční ocel typu 1 s originálními dokumenty) se vztahuje na případ výrobků, které jsou sledovatelné a pro které je k dispozici originální dokumentace. Podle protokolu A lze ocelový materiál navrhnout podle normy EN 1993, protože příslušné posouzení přiměřenosti a spolehlivosti je odůvodněno existující dokumentací. Mezi příklady ocelových konstrukcí klasifikovaných jako třída A patří ocelové konstrukce získané z recyklovaného projektu (nikdy nerealizované) nebo ocelové konstrukce získané z různých zdrojů, pro které je k dispozici dokumentace. Pro ocel třídy A lze použít volitelný minimální zkušební postup k potvrzení jakosti recyklované oceli.

Protokol B: Jeden vzorek DT (konstrukční ocel typu 1 se známým původem). Důležité je rozlišovat stáří posuzovaného materiálu. Součásti, které byly vyrobeny v poslední době, pravděpodobně mají vlastnosti, včetně jejich variability, odpovídající vlastnostem předpokládaným v návrhu u současných jakostí oceli. Vlastnosti lze posoudit na základě jediné zkoušky (protokol B). Při použití protokolu B lze vlastnosti přiřazené všem členům platné zkušební jednotky deklarovat jako referenci pro danou jakost oceli. Výše uvedené požadavky na mez kluzu a mez pevnosti představují 95% kvantily na základě průměrů a rozptylů uvedených v příloze E normy EN 1993-1-1.

Alternativně lze mez kluzu a mez pevnosti v tahu deklarovat s odkazem na ekvivalentní jakost oceli, pro kterou naměřená mez kluzu a mez pevnosti v tahu splňují kritéria uvedená v tabulce 5.3.

Tabulka 5.3 Minimální mez kluzu a mez pevnosti v tahu při zkoušce jednoho vzorku pro ekvivalentní jakosti oceli

Ekvivalentní třída oceli	$R_{eh} \geq$ (MPa)	$R_m \geq$ (MPa)
S235	267	397
S275	313	452
S355	391	505
S420	463	559
S460	490	560

Minimální mez kluzu a mez pevnosti v tahu v tabulce 1 jsou 5 % kvantily za předpokladu materiálových vlastností dle EN 1993-1-1:2022, příloha E.

Protokol C: Statisticky reprezentativní DT (konstrukční ocel typu 2 se známým původem). Při použití protokolu C mohou být charakteristické vlastnosti přiřazené všem členům platné zkušební jednotky založené na statistické analýze v souladu s EN 1990.

U protokolů B a C je prokázáno, že materiál splňuje požadavky prostřednictvím komplexních materiálových zkoušek, viz dodatek A. Zkušební postup zahrnuje kombinaci nedestruktivních a destruktivních zkoušek, např. podle normy EN ISO 6892-1, spolu s kontrolou geometrických tolerancí.

Protokol D: Komplexní DT (konstrukční ocel s neznámým původem). Pokud původ recyklovaných výrobků není znám, není možné shromáždit několik komponentů v testovací jednotce a přiřadit jim společné vlastnosti. V tomto případě protokol D vyžaduje, aby byly komponenty testovány jednotlivě destruktivními metodami. Výsledky zkoušek lze poté použít přímo jako charakteristické hodnoty nebo porovnat s nominálními hodnotami v příslušné normě výrobku. Pokud je znám původ recyklovaných výrobků, lze komponenty rozřadit do testovacích jednotek a provést nedestruktivní testování tvrdosti na všech členech testovací jednotky, aby se bezpečně vybraly členy pro destruktivní testování.

Alternativně, pokud recyklovaný ocelový materiál zůstane neidentifikovanou ocelí bez škodlivých vad, může být povoleno jeho použití pro konstrukce, které nejsou kritické z hlediska bezpečnosti, např. zemědělské budovy. V této situaci by se mělo předpokládat, že ocel je nejhorší jakosti konstrukční oceli použité v době jejího prvního použití. Lze použít příslušné normy pro materiály a konstrukční předpisy založené na datu montáže konstrukce.

Po provedení posouzení přiměřenosti recyklované ocelové konstrukce je nutné provést posouzení spolehlivosti, aby se zajistilo, že recyklovaný výrobek lze použít v konstrukčním návrhu dle normy EN 1993-1-1. Základní požadavek tohoto posouzení v podstatě souvisí se skutečností, že norma EN 1993 se opírá o známé statistické rozdělení mezi kluzu a pevnosti v tahu pro určení dílčích součinitelů pro průřezy a únosnosti prvků, které splňují požadavky na spolehlivost dle normy EN 1990. Pro provedení takového posouzení musí výsledky zkoušek splňovat určité minimální hodnoty pro mez kluzu a pevnost v tahu.

Dodatek A obsahuje protokol posouzení a zkoušek, který zahrnuje definici skupin prvků pro zkoušení (zkušební jednotky), četnost zkoušek, typy zkušebních postupů, které se mají použít k provedení posouzení přiměřenosti, a postup pro dosažení odpovídajících požadavků na spolehlivost (posouzení spolehlivosti).

5.4.6 Posouzení provedení a certifikace recyklovaných ocelových konstrukcí

U nové i recyklované ocelové konstrukce nebude žádný rozdíl ve výrobních procesech, postupech, normách ani tolerancích. Je hodné, aby repasované a recyklované konstrukce mohly být označeny značkou CE v souladu s normou EN 1090-1.

Kromě pečlivé kontroly výrobního procesu musí být vlastnosti materiálu deklarovány podle článku 5.1 normy EN 1090-2, pokud nejsou k dispozici žádné certifikáty/dokumentace k materiálu. Při použití recyklované konstrukce může být deklarování těchto vlastností podle článku 5.1 normy EN 1090-2 odpovědností akcionáře. Investoři, kteří chtějí recyklované prvky vyměnit zpět do stavebního průmyslu, jsou zodpovědní za poskytnutí dokumentace k materiálu, jak se očekává od výrobců nové konstrukce.

Předchozí prohlášení se týká prostých recyklovaných prvků bez jakýchkoli svařovacích postupů. Pokud mají recyklované ocelové prvky svařované části, musí být svařovací postupy zkontrolovány a otestovány, aby se zajistilo, že splňují výrobní požadavky normy EN 1090-2.

5.5 Složky produktů

5.5.1 Odpovídající vlastnosti

Konstrukční prvek v kontextu opětovného využití představuje jednotlivý prvek extrahovaný z existující konstrukce, který byl vybrán k demontáži a poté znovu použit jako nový produkt pro výrobu a konstrukci jiné konstrukce. To může zahrnovat ocelové profily válcované za tepla a tvarované za studena.

Ocelové profily, desky a tyče použité jako prvky musí mít rozměry a tolerance, které splňují normy uvedené v tabulce 5.4, a duté konstrukční profily normy uvedené v tabulce 5.5.

Tabulka 5.4 Válcované ocelové profily, plechy nebo tyče: normy pro materiály a rozměry

Forma	Rozměry	Tolerance	Kvalita materiálu	
			Nelegované oceli	Patinující oceli
Průřezy I a H	EN 10365	EN 10034	EN 10025-2 ^(a) EN 10025-3 EN 10025-4	EN 10025-5 ^(b)
Průřezy I s proměnnou pásnicí válcované za tepla	EN 10365	EN 10024		
U profily	EN 10365	EN 10279		
Válcované asymetrické nosníky	<i>Viz informace od výrobců.</i>			
Úhelníky	EN 10056-1	EN 10056-2		
Válcované T průřezy	EN 10055	EN 10055		
Skládané průřezy a prvky s obloukovými imperfekcemi	–	EN 1090-2		
Plechy (zpětná válcovací stolice) ^(c)	–	EN 10029		
Plechy (řezané ze svitku) ^(c)	–	EN 10051		

^(a) Ocel jakosti S235, S275, S355 a S450. Ocel jakosti S235 a S275 lze dodat v jakostech JR, J0 a J2. Ocel jakosti S355 lze dodat v jakostech JR, J0, J2 a K2. Ocel jakosti S450 se dodává v jakosti J0.

(b) Ocel jakosti S235 a S355. Ocel jakosti S235 může být dodávána v jakostech J0W a J2W. Ocel jakosti S355 může být dodávána v jakostech J0W, J0WP, J2W, J2WP a K2W.
 (c) Rozsah působnosti normy EN 10029 zahrnuje plechy o tloušťce 3 mm až 250 mm válcované na reverzní válcovací trati, zatímco norma EN 10051 zahrnuje plechy o tloušťce do 25 mm odvíjené kontinuálně válcované ploché výrobky bez povlaku za tepla.

Tabulka 5.5 Duté průřezy: normy pro materiál a geometrie

Norma ^(a)	Rozměry a tolerance	Materiál
Duté průřezy (tvarované za tepla)	EN 10210-2	EN 10210-1
Duté průřezy (tvarované za studena)	EN 10219-2	EN 10219-1

(a) Duté průřezy pro ocelové konstrukce (tvářené za tepla a za studena) z oceli jakosti S235 v jakosti JRH, oceli jakosti S275 v jakostech J0H a J2H a S355 v jakostech J0H, J2H a K2H.
 Poznámka: Volba normy EN 10210 nebo EN 10219 určuje, zda mají být konstrukční duté profily tvářeny za tepla nebo za studena. Za tepla tvářené duté konstrukční profily podle EN 10210 nelze přímo nahradit dutými konstrukčními profily tvářenými za studena podle EN 10219, protože jejich vlastnosti si přímo neodpovídají.

Kromě geometrických vlastností jsou pro výkon prvků velmi důležité i materiálové charakteristiky. Jakost oceli lze zjistit pomocí zkušebních protokolů uvedených v 5.4.5. Tyto protokoly lze také použít k definování lomové houževnatosti oceli potřebné pro splnění požadavků normy EN 1993-1-10 [17].

EN 1993-1-10 poskytuje obecná pravidla pro návrh pro výběr ocelových vlastností, aby se zabránilo křehkému zlomenině specifikací vlastností houževnatosti a aby se zabránilo lamelárnímu roztržení specifikací vlastností skrz tloušťku.

Alternativně Tabulky 5.6 poskytuje omezené tloušťky plechů pro britskou praxi za předpokladu, že ocelové konstrukce jsou svařovány se středně náročnými a velmi náročnými detaily podle [59] a [60] pro napětí rovné nebo vyšší než $0.5 \times f_y(t)$.

Tabulka 5.1 Maximální tloušťka (mm) pro příslušnou třídu oceli (UK)

Náročnost svarového detailu	Ocelová konstrukce	S235			S275			S355		
		JR	J0	J2	JR	J0	J2	JR	J0	J2
Mírná	Vnitřní	45	82.5	115	40	70	102.5	22.5	45	67.5
	Vnější	27.5	67.5	97.5	22.5	60	85	12.5	37.5	55
Značná	Vnitřní	27.5	45	67.5	22.5	40	60	12.5	22.5	37.5
	Vnější	12.5	37.5	55	10	32.5	50	5	17.5	30

Vzhledem k tomu, že rozsah této směrnice je omezen na opětovné použití regenerované oceli, lze pro konstrukce, u nichž není nutné provádět posudek na únavu, použít mezní hodnoty tloušťky navrhované dokumentem SCI P419 SCI P419 [61]. Podkladový dokument k normě EN 1993-1-10 [18] potvrzuje, že mezní tloušťky mohou být při použití pro konstrukce, které nejsou vystaveny únavovému namáhání, přehnaně konzervativní.

Dokument SCI P419 používá stejné postupy jako Eurokód, založené na přístupu lomové mechaniky, ale snižuje vypočtený růst trhlin pro případy, kde se při návrhu neuvažuje s vlivem únavou. Tabulka 5.7 má stejný formát jako tabulka 2.1 normy EN 1993-1-10. Hodnoty uvedené v tabulce 5.7 lze použít i v jiných zemích než ve Velké Británii, pokud není

konstrukce posuzována na únavu, s výhradou případných požadavků specifické národní přílohy dané země, kde konstrukce bude zhotovena

Tabulka 5.2 Největší přípustné tloušťky pro návrh bez vlivu únavy [61].

Třída oceli	Jakostní stupeň	Nárazová práce CVN		Referenční teplota T_{Ed} [°C]																			
				10	0	-10	-20	-30	-40	-50	10	0	-10	-20	-30	-40	-50	10	0	-10	-20	-30	-40
		při T [°C]	J_{min}	$\sigma_{Ed} = 0.75 f_y(t)$										$\sigma_{Ed} = 0.5 f_y(t)$					$\sigma_{Ed} = 0.25 f_y(t)$				
S235	JR	20	27	200	200	200	195	125	87	63	200	200	200	200	200	200	161	200	200	200	200	200	200
	JO	0	27	200	200	200	200	200	195	125	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
	J2	-20	27	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
S275	JR	20	27	200	200	200	133	91	64	47	200	200	200	200	200	200	170	121	200	200	200	200	200
	JO	0	27	200	200	200	200	200	133	91	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
	J2	-20	27	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
	M,N	-20	40	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
S355	ML, NL	-50	27	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
	JR	20	27	200	177	114	77	54	40	30	200	200	200	200	200	200	147	104	76	200	200	200	200
	JO	0	27	200	200	200	177	114	77	54	200	200	200	200	200	200	147	200	200	200	200	200	200
	J2	-20	27	200	200	200	200	200	177	114	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
	K2,M,N	-20	40	200	200	200	200	200	200	177	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
S460	ML, NL	-50	27	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
	Q	-20	30	200	200	200	200	147	96	65	200	200	200	200	200	200	187	200	200	200	200	200	200
	M, N	-20	40	200	200	200	200	200	147	96	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
	OL	-40	30	200	200	200	200	200	200	147	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
	ML, NL	-50	27	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
	OL1	-60	30	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200

Doklady o kontrole (nebo osvědčení o zkoušce) jsou dostatečným důkazem, že výrobek splňuje požadovanou třídu a jakostní stupeň. V ocelárně se v rámci systému kontroly kvality umísťuje na každou délku nebo šarži výrobků označení v podobě vyražených čísel nebo písmen, aby bylo možné vysledovat její konkrétní původ a výrobní trasu až do místa montáže [63]. Kontrolní dokument pro každou šarži oceli je nejdůležitějším dokumentem pro výrobce oceli, zhotovitele, montážní firmu a pro následného odběratele hotových komponentů nebo konstrukce. Kromě chemického složení a mechanických vlastností by měl kontrolní dokument zaznamenávat také způsob výroby oceli a veškeré tepelné úpravy, které výrobce oceli během výroby použil.

Ocel, u které nelze snadno určit jakost, musí být podrobena příslušným zkouškám, aby se zjistila shoda s normami. Musí být vypracován protokol o odběru, provedení a vyhodnocení zkoušek vzorků, který zajistí dostatečné znalosti materiálů potřebné pro spolehlivé vyhodnocení (viz Příloha A). Neidentifikovaná opětovně využívaná ocel může být použita pro konstrukce, které nejsou bezpečnostně kritické, například zemědělské budovy.

Pro ověření konstrukční opětovné použitelnosti ocelových prvků jako základních výrobků je navržen následující postup:

- Pro všechny prvky by měla být poskytnuta dokumentace s uvedením umístění a konstrukce budovy, ze které byly komponenty odebrány, včetně data výstavby původní budovy,
- Všechny výrobky určené k opětovnému použití by měly pocházet z konstrukce postavené z komponentů vyrobených v roce 1970 nebo později, která nebyla vystavena rozsáhlému dynamickému zatížení a jiným mimořádným zatížením, např. požáru,
- Všechny povrchy by měly být vizuálně zkontrolovány, aby se zajistilo, že ocelové povrchy neobsahují rez a že nedochází k nadměrné korozi. (Prvky musí být vizuálně kontrolovatelné, a proto by měla být odstraněna veškerá protipožární ochrana). V

případě profilů tvarovaných za studena, musí být svarový šev zkontrolován kvůli případným vadám,

- Nátěry obsahující toxické látky, např. olovo, kadmium, azbest a případné okuje, musí být odstraněny příslušným postupem pro přípravu povrchů dle normy EN ISO 8501-1 [64],
- Prvky z recyklované oceli by neměly obsahovat svarové spoje (pokud nejsou svary testovány) a neměly by mít otvory v místech, kde se mají v prvku vyvrtat nové otvory (minimálně 3násobek průměru otvoru nebo 100 mm je rozumné kritérium pro určení vzdálenosti mezi novými otvory a příložkami),
- Rozměry průřezu (pokud nejsou známy) by měly být změřeny a průřezy klasifikovány, jak je uvedeno v tabulce 5.4 a tabulce 5.5. Pro porovnání s nominálními hodnotami by měla být vybrána alespoň tři místa podél prvků,
- Pro otevřené průřezy (nosníky s širokými pásnicemi H a nosníky o průřezu I) specifikuje norma EN 10034 tolerance geometrických rozměrů těchto prvků. Mají být uvažovány následující tolerance: výška průřezu, šířka pásnice, tloušťka stojiny, tloušťka pásnice, dodržení pravých úhlů a dostřednost umístění stojiny,
- Pro uzavřené průřezy, kterými jsou kruhové trubky (CHS), čtvercové (SHS) a obdélníkové trubky (RHS), specifikuje norma EN 10219-2 tolerance geometrických rozměrů za studena tvarovaných konstrukčních uzavřených profilů, zatímco norma EN 10210-2 specifikuje tolerance geometrických rozměrů za tepla tvarovaných konstrukčních uzavřených průřezů. Měly by být přijaty následující tolerance: vnější rozměry (CHS a RHS), tloušťka (CHS a RHS), odchylka od kruhovitosti (pro CHS), konkávnost/konvexnost (pro RHS) a pravouhlost stran (pro RHS),
- Tolerance přímosti prvků by měly odpovídat normě EN 1090-2 a pro CHS a RHS by měly odpovídat normám EN 10219-2 a EN 10210-2. Tolerance starších průřezů se mohou lišit, a proto může být nutné určité narovnání, viz historická data z Velké Británie a Rumunska uvedená v tabulce 5.8,
- Prvky by měly mít hladký povrch. Hrboly, dutiny nebo mělké podélné drážky vzniklé výrobním procesem jsou však přípustné, pokud zbývající tloušťka je v rámci tolerance. Povrchové vady lze odstranit broušením, pokud tloušťka(y) průřezu po opravě není menší než minimální přípustná tloušťka. Pokud skutečný rozměr po tryskání/broušení neodpovídá jmenovitým rozměrům mínus jmenovitá tolerance, měl by být průřez zařazen do nejbližšího subtilnějšího průřezu,
- Difúzní zúžení (zmenšení průřezu) není povoleno například u spojů a prvků namáhaných tahem,
- Recyklované části, které nelze opravit/renovovat z ekonomických důvodů, mají být vyřazeny,
- Recyklovaná konstrukční ocel má být pro konstrukční účely klasifikována podle kapitoly 5.4.1

Tabulka 5.3 Přehled geometrických tolerancí pro jednotlivé prvky.

Produkt	Tolerance				
	BS4 UK (1962) [65]	Dorman Long UK (1964) [66]	BS4 UK (1962) [65]	EN 1090-2 EU (2018) [8]	STAS 767 RO (1988) [68]
Nosník	L/960	Nosník	L/960	Nosník	L/1000, ale max. 15 mm
Sloup do (ale ne včetně) 9.14 m	L/714	Sloup do (ale ne včetně) 9.14 m	L/714	Sloup do (ale ne včetně) 9.14 m	
Sloup do 13.72 m	L/960	Sloup do 13.72 m	L/960	Sloup do 13.72 m	
Sloupy vysoké 13.72 m a více	L/960 – 4.75 mm	Sloupy vysoké 13.72 m a více	L/960 – 4.75 mm	Sloupy vysoké 13.72 m a více	

5.5.2 Spolehlivost

Spolehlivost návrhových metod Eurokódu 3 je zaručena použitím dílčích součinitelů. Doporučené hodnoty těchto součinitelů jsou definovány v příslušné části Eurokódu 3 a v příslušných národních přílohách. Pro opětovně použité průřezy nejsou v současné době k dispozici žádné konkrétní informace.

Pokud se použijí zkušební protokoly a požadavky definované v CEN/TS 1090-201:2024 [2] zdá se rozumné použít stejné dílčí součinitele, pokud neexistují jiná ustanovení na národní úrovni.

Je také důležité poznamenat, že v příloze E normy EN 1993-1-1:2022 [15] jsou uvedeny statistické vlastnosti geometrických a materiálových charakteristik, které byly uvažovány při stanovení aktuálních hodnot dílčích faktorů

Předpokládaná pásma rozptylu (střední hodnoty, variační koeficienty) pro rozměrové vlastnosti jsou uvedeny v tabulce E.2. U rozměrových vlastností, které nejsou v tabulce E.2 výslovně uvedeny, se předpokládá, že střední hodnoty jsou rovny jmenovitým hodnotám a směrodatné odchylky jsou rovny polovině intervalu mezi jmenovitou hodnotou a dolní hranicí tolerančního intervalu dle normy EN 1090-2, nebo jiných příslušných norem pro výrobky. Hodnoty v tabulce 5.9 (tabulka E.2 [15]) představují produkty, které jsou v současné době dostupné na evropském trhu a splňují příslušné evropské normy pro výrobky.

Tabulka 5.4 Předpokládaná variabilita rozměrů průřezu [15]

Typ rozměru	Parametr	Střední hodnota	Variační koeficient	Horní referenční hodnota	Dolní referenční hodnota
		X_m		$X_{5\%}$	$X_{0.12\%}$
Vnější rozměry průřezu	Výška h	$1.0 h_{nom}^a$	0.9 %	$0.98 h_{nom}^a$	$0.97 h_{nom}^a$
	Šířka b	$1.0 b_{nom}^a$	0.9 %	$0.98 b_{nom}^a$	$0.97 b_{nom}^a$
	Vnější průměr d uzavřeného kruhového průřezu	$1.0 d_{nom}^a$	0.5 %	$0.99 d_{nom}^a$	$0.98 d_{nom}^a$
Tloušťka stěny	Válcované a svařované I a H průřezy: tloušťka pásnice t	$0.98 t_{nom}^a$	2.5 %	$0.95 t_{nom}^a$	$0.91 t_{nom}^a$
	Válcované a svařované I a H průřezy: tloušťka stojiny t_w	$1.0 t_{w,nom}^a$	2.5 %	$0.96 t_{w,nom}^a$	$0.93 t_{w,nom}^a$
	Za tepla válcované (bezešvé) nebo svařované konstrukční uzavřené průřezy (dle EN 10210 (všechny části)): tloušťka stěny t	$0.99 t_{nom}^a$	2.5 %	$0.95 t_{nom}^a$	$0.92 t_{nom}^a$
	Za studena tvarované průřezy ze sviteků nebo plechů (dle EN 10219 (všechny části)): tloušťka stěny t	$0.99 t_{nom}^a$	2.5 %	$0.95 t_{nom}^a$	$0.92 t_{nom}^a$
	Ostatní svařované průřezy z tlustých plechů: tloušťka t	$0.99 t_{nom}^a$	2.5 %	$0.95 t_{nom}^a$	$0.92 t_{nom}^a$
^a Jmenovité rozměry podle platné normy nebo specifikace výrobku.					

V tabulce 5.5 jsou uvedeny statistické vlastnosti předpokládané pro stanovení materiálových vlastností, jmenovitě mez kluzu a mez pevnosti v tahu.

Tabulka 5.5 Předpokládaná variabilita materiálových charakteristik [15].

Parametr	Třída oceli	Střední hodnota	Variační koeficient	Horní referenční hodnota	Dolní referenční hodnota
		X_m		$X_{5\%}$	$X_{0.12\%}$
Mez kluzu, f_y	S235, S275	1,25 $R_{eH,min}^a$	5,5%	1,14 $R_{eH,min}^a$	1,06 $R_{eH,min}$
	S355, S420	1,20 $R_{eH,min}^a$	5,0%	1,1 $R_{eH,min}^a$	1,03 $R_{eH,min}$
	S460	1,15 $R_{eH,min}^a$	4,5%	1,07 $R_{eH,min}^a$	1,00 $R_{eH,min}$
	Vyšší než S460	1,10 $R_{eH,min}^a$	3,5%	1,04 $R_{eH,min}^a$	1,00 $R_{eH,min}$
Mez pevnosti v tahu, f_u	S235, S275	1,20 $R_{eH,min}^a$	5,0%	1,11 $R_{m,min}^a$	1,03 $R_{m,min}$
	S355, S420	1,15 $R_{eH,min}^a$	4,0%	1,08 $R_{m,min}^a$	1,03 $R_{m,min}$
	S460 a vyšší	1,10 $R_{eH,min}^a$	3,5%	1,04 $R_{m,min}^a$	1,00 $R_{m,min}$
Modul pružnosti, E	Všechny třídy	210 000 MPa	3,0%	200 000 MPa	192 000 MPa

^a $R_{eH,min}$ a $R_{m,min}$ jsou minimální hodnoty meze kluzu R_{eH} a dolní hranice meze pevnosti v tahu R_m , podle příslušné normy, například EN 10025 (všechny části).

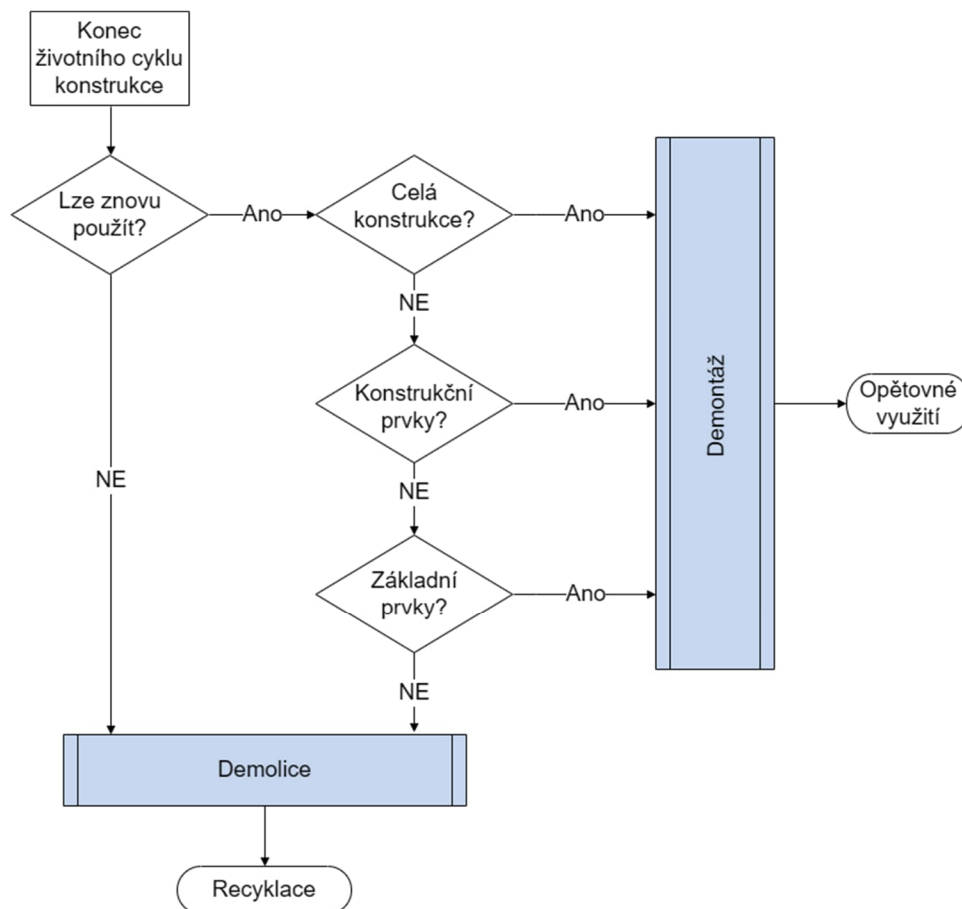
Pokud z posouzení vlastností prvků vyplývají podobné statistické vlastnosti pro opětovně využívané prvky, jeví se jako rozumné opět použít hodnoty dílčích součinitelů obecně používané pro nové prvky za předpokladu, že i geometrické tolerance, jako je například odchylka od přímosti nebo rovinnosti, respektují normy výrobku.

5.6 Hlavní nosná konstrukce

- Ocelové konstrukce a ocelové stavební výrobky jsou obecně velmi dobře demontovatelné. Za předpokladu, že je ve fázi návrhu věnována pozornost demontáži, neexistuje žádný technický důvod, proč by téměř veškerý ocelový stavební fond neměl být považován za komponenty pro budoucí použití v nových aplikacích. V některých odvětvích, např. v průmyslu a zemědělství, je opakované použití jednopodlažních ocelových konstrukcí a prvků opláštění již poměrně běžné.
- Podle normy EN 1090-2, komponent představuje část ocelové konstrukce, která sama o sobě může být sestavou několika menších komponent. Ocelová konstrukce představuje uspořádanou kombinaci spojených komponent navržených tak, aby přenášely zatížení a poskytovaly adekvátní tuhost.
- V rámci tohoto projektu se navrhnou následující kritéria pro výběr a přijetí ocelových prvků, tj. částí konstrukce nebo celé primární konstrukce, pro opětovné použití:
- Všechny komponenty, nebo celé konstrukce, určené k opětovnému použití by měly pocházet z konstrukce postavené z komponentů vyrobených v roce 1970 nebo později, která nebyla vystavena rozsáhlému dynamickému zatížení a jiným mimořádným zatížením, např. požáru,
- Recyklovaná konstrukční ocel má být pro konstrukční účely klasifikována podle kapitoly 5.4.1.
- Nejprve se jednotlivé konstrukční prvky posoudí podle kapitoly 5.5. Pojem "posouzení" je v tomto kontextu definován v normě EN 1090-1, tj. prokázání shody s požadavky, jako jsou vlastnosti materiálu, geometrie a konstrukční charakteristiky,
- Kromě požadavků uvedených v kapitole 5.5, by měly být povrchy všech svarů po celé délce vizuálně kontrolovány dle normy EN ISO 17637 [69]. Vizuální kontrola by

měla být provedena před jakoukoli jinou nedestruktivní zkouškou (NDT). Pokud jsou zjištěny povrchové vady, měla by být na kontrolovaném svaru provedena dodatečná povrchová zkouška pomocí kapilární zkoušky nebo kontroly magnetickými částicemi. Obecně platí, že ultrazvukové zkoušení nebo radiografické zkoušení je vhodné pro tupé svary a kapilární zkouška nebo kontrola magnetickými částicemi je vhodná pro koutové svary,

- Stávající šrouby z předchozích aplikací se nesmějí znovu používat,
- V případě repasování může být ocelový komponent / detail / konstrukční prvek nebo modul / primární konstrukce následně označen certifikátem CE podle EN 1090-1 [7].



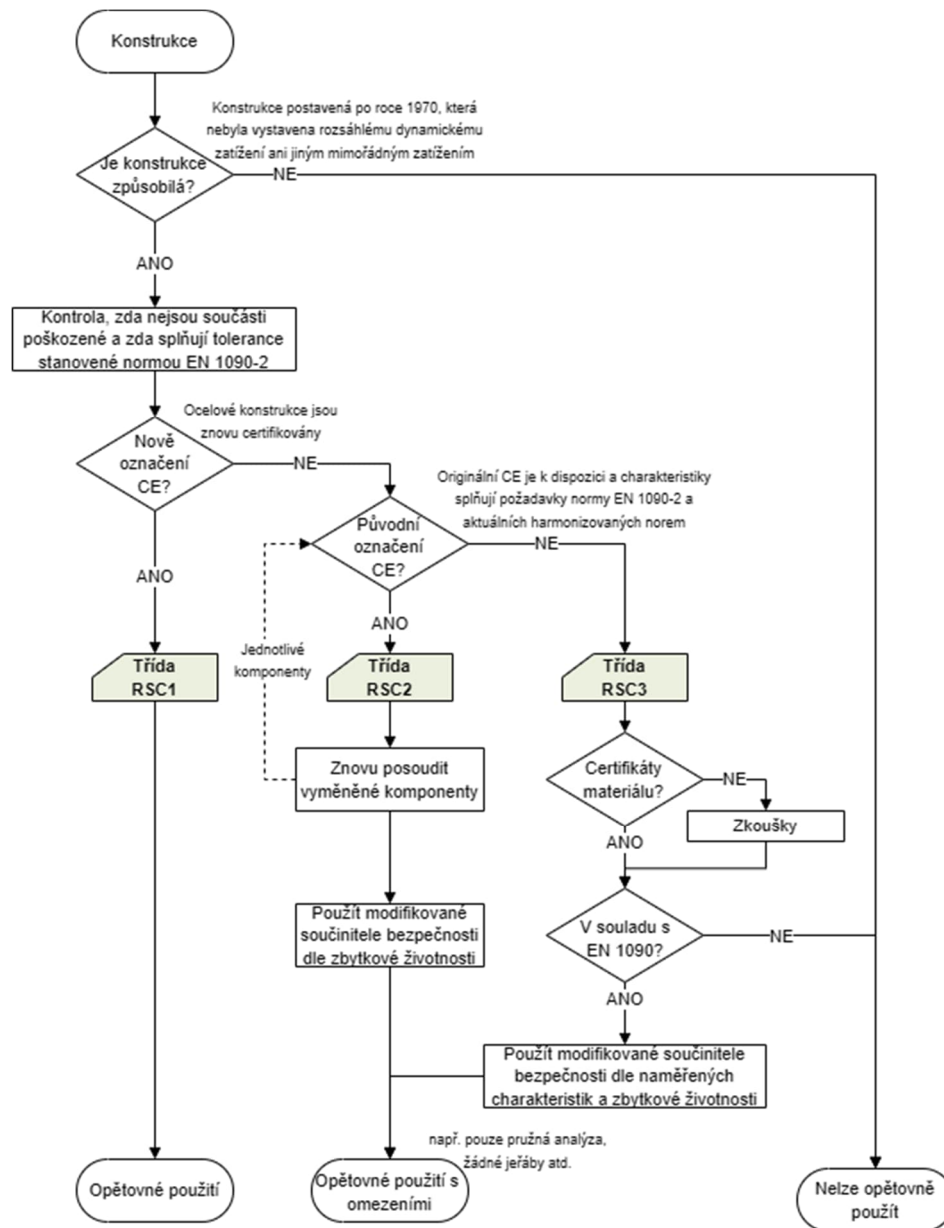
Obr. 5.4 Rámcový proces opětovného použití ocelových konstrukcí / prvků (komponent)

S opětovným použitím ocelových konstrukcí je však nevyhnutelně spojena určitá míra nejistoty. Celkový proces pro ověření opětovného použití součástí nebo celých primárních konstrukcí je uveden na obrázku 5.5

Vývojový diagram na obrázku 5.5 stanovuje tří možné třídy po kontrole způsobilosti a shody s tolerancemi podle normy EN 1090-2:

- Třída RSC1: konstrukční prvek nebyl v prvním životním cyklu označen CE a musí být certifikován jako nový konstrukční prvek/konstrukce. Pro tuto třídu jsou nutná podrobná ověření, zda ocelové materiály splňují příslušné požadavky, prostřednictvím rozsáhlých zkoušek,

- Třída RSC2: konstrukční prvek byl označen značkou CE v prvním životním cyklu podle normy EN 1090-1 a je k dispozici původní dokumentace. Každá konstrukční část by měla být znovu posouzena, aby se potvrdila shoda s normou EN1090-2 a harmonizovanými normami. Ocelové materiály splňují požadavky na vlastnosti na základě omezených zkoušek a se schváleným zajištěním kvality z původních certifikátů. Svarové spoje musí projít vizuálními a dalšími NDT kontrolami. Konstrukční prvek lze znovu použít při navrhování podle EN 1993-1-1 s určitými omezeními: (i) při opětovném použití konstrukčních prvků není povolena plastická globální analýza; (ii) doporučuje se konzervativní hodnota součinitele bezpečnosti γ_{M1} , kvůli dříve zmiňovaným nejistotám, a protože procesy posuzování budou pravděpodobně méně spolehlivé než procesy prováděné pro nové ocelové konstrukční prvky,
- Třída RSC3: konstrukční prvek nebyl označen CE nebo certifikát není k dispozici. Konstrukční prvky musí odpovídat normě EN 1090-2. Ocelové materiály a svary mohou být posouzeny prostřednictvím omezených zkoušek materiálu a znovu certifikovány. Konstrukční prvek lze znovu použít v konstrukcích podle normy EN 1993-1-1 se stejnými omezeními jako u třídy RSC2.



Obr. 5.5 Celkový proces ověřování možnosti opětovného použití ocelových komponent nebo celých konstrukcí.

5.6.1 Třídy provedení

Třída provedení požadovaná pro ocelové konstrukce je rozlišovacím znakem spolehlivosti pro výběr požadavků na kvalitu, zkoušení a kvalifikaci. Základem pro označení CE je, že výrobce prohlašuje, že jeho výrobky splňují příslušné stanovené charakteristiky, které jsou definovány jako podstatné pro použití výrobků ve stavebnictví.

U každého projektu musí být specifikována požadovaná kvalita zhotovení nebo třída provedení (EXC). Norma EN 1090-2 [8] vyžaduje, aby byla třída provedení specifikována pro stavbu jako celek, jednotlivý prvek nebo konstrukční detail. V některých případech bude

třída provedení pro konstrukci, prvky a detaily stejná, zatímco v jiných případech se třída provedení pro prvky a detaily může lišit od třídy provedení stanovené pro celou konstrukci.

Norma EN 1090-2 specifikuje požadavky, které jsou většinou nezávislé na typu a tvaru ocelové konstrukce (např. budovy, mosty, plnostěnné nebo příhradové nosníky), včetně konstrukcí vystavených únavě nebo seizmickým účinkům. Některé požadavky jsou rozlišeny z hlediska tříd provedení.

Podle normy EN 1090-2 existují čtyři třídy od EXC1, pro kterou jsou požadavky nejméně přísné, až po EXC4, pro kterou jsou požadavky nejpřísnější. Je však třeba poznamenat, že požadavky třídy EXC4 by měly být definovány individuálně, ale s přihlédnutím k těm, které platí pro EXC3. Je na projektantovi, aby zvolil příslušnou třídu EXC požadovanou pro konstrukci, jednotlivou součást nebo konkrétní detail.

Výběr třídy provedení by měl vycházet z následujících tří faktorů:

- Požadovaná spolehlivost;
- Typ zatížení, pro které je konstrukce, prvek nebo detail navržen;
- Typ konstrukce, prvku nebo detailu.

Z hlediska spolehlivosti, by měl výběr třídy provedení vycházet z požadované třídy následků (CC). Třídy následků jsou definovány v normě EN 1990:2023 [9]. pro navrhování konstrukcí klasifikovaných jako CC1 až CC3.

Pokud jde o typ zatížení působícího na ocelovou konstrukci nebo prvek či detail, měl by výběr třídy provedení vycházet z toho, zda je konstrukce nebo prvek či detail navržen pro statické působení, kvazistatické působení, únavové působení nebo seizmické působení.

Výběr třídy provedení (EXC) na základě typu zatížení je uveden v tabulce 5.11, převzaté z normy EN 1993-1-1.

Tabulka 5.6 Stanovení třídy provedení (EXC) na základě typu zatížení.

Třída následků (CC)	Typ zatížení				
	Statické, Kvazistatické	Seizmické			Únava ^b
		DC1 ^a	DC2 ^a	DC3 ^a	
CC3	EXC3 ^c	EXC3 ^c	EXC3 ^c	EXC3 ^c	EXC3 ^c
CC2	EXC2	EXC2	EXC2	EXC3 ^d	EXC3
CC1	EXC1	EXC2 ^e	EXC2	EXC2	EXC2

^a Třídy seizmické tažnosti (DC) jsou uvedeny v prEN 1998-1-1.
^b Viz EN 1993-1-9.
^c EXC4 lze uvažovat ve zvláštních případech, včetně těch, které jsou obvykle zahrnuty v CC4 normy EN 1990.
^d Pouze konstrukce odolávající seizmickému zatížení spadá do EXC3; konstrukce odolávající gravitačnímu zatížení má být zařazena do EXC2.
^e Pokud index seizmických účinků není větší než 2,5m/s² (nízká třída seizmických účinků, viz prEN 1998-1-1), lze konstrukci v DC1 zařadit do EXC1.

Pokud se požadovaná třída provedení pro určité součásti a/nebo detaily liší od třídy použité pro celkovou konstrukci, měly by být tyto součásti a/nebo detaily jasně identifikovány.

Národní přílohy mohou upřesnit výběr třídy provedení z hlediska typů komponent nebo detailů. Doporučuje se následující [15]:

"Pokud je pro konstrukci vybrána EXC1, pak by se EXC2 měla vztahovat na následující typy součástí:

- a) svařené součásti vyrobené z ocelových výrobků třídy S355 a vyšší;*
- b) svařené součásti nezbytné pro integritu konstrukce, které se zhotovují svařováním na staveništi;*
- c) svařované součásti příhradových nosníků (kruhové trubky) vyžadující opracování čelních částí prvků;*
- d) prvky, které se během výroby tvářejí za tepla nebo se během výroby tepelně zpracovávají."*

Tento dokument se zaměřuje na opětovné použití jednopodlažních a vícepodlažních ocelových budov a jejich součástí. Opětovně použité konstrukční prvky mohou být využity pro třídy následků CC1 nebo CC2, podle přílohy A normy EN 1993-1-1, pro statické, kvazistatické nebo seizmické zatížení typu DC1. Proto je třída provedení 2 (EXC2) nejvhodnější pro většinu jednopodlažních a vícepodlažních budov, tj. budov nebo částí budov, na které se nevztahuje třída CC1 nebo CC3. Seznam požadavků týkajících se tříd provedení je uveden v příloze A.3 normy EN 1090-2.

K opětovně používaným konstrukčním ocelovým prvkům je třeba přistupovat odlišně, protože mohly být vyrobeny podle již neplatné normy a je velmi nepravděpodobné, že by měly zdokumentované výsledky zkoušek z doby výroby. Norma EN 1090-2 umožňuje použití jiných materiálů tím, že uvádí, že: *"Pokud mají být použity výrobky, na které se nevztahují uvedené normy, musí být specifikovány jejich vlastnosti"*. Nebude žádný rozdíl ve výrobních procesech, postupech, normách ani tolerancích pro novou ani opětovně použitou ocel. Je proto vhodné, aby opětovně použité konstrukční ocelové prvky mohly být označeny značkou CE v souladu s normou EN 1090. Kromě pečlivé kontroly konstrukčních prvků musí být deklarovány vlastnosti materiálu podle normy EN 1090-2.

Pokud se mají znovu použít stávající spoje, je jim třeba věnovat zvláštní pozornost. Kontrole a zkouškám by měly být podrobeny zejména všechny svary. Doporučuje se vizuální kontrola 100 % svarů.

Specifikace EXC nemusí být vždy udávat dostačující informace pro rozlišení kritérií přijatelnosti a rozsahu kontroly svarů/detailů s různou úrovní důležitosti. To může mít za následek následující:

- a) kritéria přijatelnosti se mohou stát nesplnitelnými pro svary, které nejsou důležité,
- b) rozsah stanovené kontroly může být příliš velký u svarů, které nejsou důležité,
- c) stanovená kontrola může vynechat kritická místa.

Použití tříd kontroly svarů (WIC) (viz příloha L normy EN 1090-2) může být užitečné při určování jak celkového rozsahu, tak procentuálního rozsahu doplňkových zkoušek podle významu (důležitosti) svaru. To může být výhodné jak z hlediska bezpečnosti, tak z ekonomického hlediska, protože se lze vyhnout zbytečným kontrolám a opravám. Počáteční

volba tříd kontroly svarů (WIC) by měla zohlednit pravděpodobnost výskytu závad u konkrétních konfigurací svarů (např. svary, které mají být provedeny v obtížných podmínkách, jako jsou svary nad hlavou nebo svary prováděné na staveništi. Následně mohou být třídy kontroly svarů (WIC) sníženy na základě zkušeností z výroby.

Třídy kontroly svarů jsou stanoveny na základě následujících kritérií:

- a) vystavení únavovým účinkům,
- b) význam důsledku selhání svaru pro konstrukci,
- c) směr, typ a velikost namáhání.

V příloze A.3 normy EN 1090-2 jsou uvedeny požadavky specifické pro každou z tříd provedení, na které se tato evropská norma odkazuje. "Nr" v tabulce znamená "Žádný specifický požadavek v textu".

V případě opětovně použitých prvků nebo celé primární konstrukce je zhotovitel nebo vlastník odpovědný za určení EXC pro konstrukci (jako celek) a pro prvky a detaily, kde je vhodné určit jinou třídu provedení než pro konstrukci. Pokud se třídy liší, neměla by být třída provedení pro prvek nebo detail nižší než třída uvedená pro konstrukci jako celek. Navíc by měla být v nové specifikaci jasně definována.

Pokud jsou prvky nebo celá konstrukce v rámci opětovného použití distribuovány do dodavatelského řetězce, organizace, která disponuje konstrukčními prvky nebo celou primární konstrukcí pro opětovné použití, má významné povinnosti zahrnující kontrolu a provedení zkoušek, vedení podrobných záznamů a formální prohlášení o vlastnostech materiálu.

Pokud jsou opětovně použité konstrukční prvky nebo celá primární konstrukce distribuovány do dodavatelského řetězce, musí být doprovázeny formálním prohlášením podle požadavků normy EN 1090-2. Z prohlášení musí být zřejmé, které vlastnosti byly převzaty a které byly zjištěny zkouškou.

Uvedeny mají být následující údaje:

- geometrické údaje (tolerance rozměrů a tvaru),
- svařitelnost - pokud je požadována; pokud ne, může být deklarována jako „No performance determined (NPD)“,
- lomová houževnatost výrobků z konstrukční oceli,
- reakce na oheň - musí být deklarováno, že materiály jsou klasifikovány jako třída A1; nebo pokud se jedná o nátěr s organickým obsahem vyšším než 1 %, je nutné uvést příslušnou třídu organického obsahu,
- emise radioaktivity - "NPD", která má být uvedena,
- trvanlivost - deklaruje se v závislosti na specifikaci komponenty,
- třída provedení (EXC),
- reference na specifikaci komponenty.

5.7 Ocelové prvky tvářené za studena

Vaznice a paždíky jsou obvykle tenkostěnné pozinkované tvářené válcované za studena. V současné době se jako vaznice nebo paždíky používají profily Z, C a □, přičemž výrobci

nabízejí konstrukční údaje v podobě tabulek zatížení/rozpětí nebo případně samotný software. Vaznice a paždíky, které působí jako sekundární nosníky podepřené primárními nosníky (např. rámovými příčlemi) nebo sloupy, jsou často ztuženy obvodovým pláštěm budovy (např. trapézovým plechem, kazetami, sendvičovými panely atd.)

Průběh ohybového momentu závisí nejen na typu zatížení, gravitaci nebo vztlaku, ale také na podmínkách statického schématu vaznice, která může působit jako prostě podepřený nosník nebo nosník spojitý přes dvě nebo více polí. V případě spojitého nosníku může mít vaznice konstantní průřez jak v poli, tak nad podporou, nebo je možné zdvojit průřez nad podporou, například pomocí překrytí nebo rukávů. V případě zdvojení průřezu nad podporou lze návrh průřezu vaznice optimalizovat s ohledem na průběh a velikost vnitřních sil v poli a nad podporou.

Každý výrobce má své specifické tvary tenkostěnných průřezů, výšky od 100 do 350 mm a tloušťky stěn od 0,8 mm do 3,2 mm. Tyto vaznice jsou obvykle vhodné pro rozteče rámu od 4 do 9 m a rozteče vaznic od 1,2 do 2,5 m.

Všechny oceli použité pro ocelové pruty tvářené za studena a profilované plechy musí být vhodné pro tváření za studena a případně pro svařování. Oceli použité pro pozinkované pruty a plechy, které mají být pozinkovány, by měly být rovněž vhodné pro pozinkování.

Norma EN 1993-1-3 [16] stanovuje, že materiály uvedené v tabulce 5.1a jsou ve shodě s harmonizovanými normami produktů, zatímco materiály v tabulce 5.1b jsou ve shodě s normami produktů EN nebo ISO. U ostatních ocelí se vhodnost pro tváření za studena prokazuje zkouškou ohybu podle normy EN ISO 7438 [70] nebo ekvivalentní zkouškou.

Pro efektivní návrh konstrukce, kdy se rozpětí pohybují od 6,0 m do 7,0 m, se obvykle navrhnou spojitě vaznice s překrytím nad podporou a uchycením k podpůrnému prvku pomocí šroubového spoje (botky). Alternativně lze použít překrytí pomocí rukávů.

Obvodový plášť lze uvažovat jako průběžné podepření, které zabraňuje klopení vaznice. Aby bylo možné uvažovat obvodový plášť jako ztužující systém pro vaznici, musí plášť vykazovat dostatečnou tuhost. Pokud není podepření pomocí pláště plně účinné, lze použít dodatečná příčná ztužení.

Úspěšnost opětovného použití sekundárních lehkých ocelových konstrukcí bude pravděpodobně mnohem nižší ve srovnání s primárními ocelovými konstrukcemi válcovanými za tepla. Důvodem je skutečnost, že opláštění (vaznice, paždíky a plášť) je obvykle upevněno značným počtem spojovacích prvků, které mohou ztěžovat proces demontáže a poškodit konstrukční prvky během tohoto procesu.

V předchozích částech byl uveden přehled procesu opětovného použití konstrukčních ocelových prvků válcovaných za tepla podle normy EN 1090-2. Pro konstrukční prvky tvářené za studena platí podobné zásady s přihlédnutím k doporučení normy EN 1090-4 [71]. Možné jsou také alternativní specifikace zdrojového materiálu podobné kapitole 5.2.5. Následující kapitoly objasňují klíčové aspekty umožňující opětovné použití konstrukční oceli z prvků tvářených za studena.

Je nepravděpodobné, že by se v rámci této příručky uvažovalo svařování ocelových prvků tvarovaných za studena nebo že by bylo vyžadováno pro budoucí použití. Proto se posouzení procesů provádění může týkat pouze geometrických tolerancí ocelových konstrukcí tvarovaných za studena podle doporučení EN 1090-4 a EN1993-1-3.

5.7.1 Klasifikace za studena tvářených profilů

Ocelové konstrukční prvky a plechy tvářené za studena, používané pro nosné účely ve stavebnictví, se klasifikují s ohledem na rozměry (geometrii) a požadavky na pevnost. Následně je součástí celkové klasifikace také posouzení systému protikorozi ochrany.

Podle kapitoly 5.4.1 by měla být ocel pro opětovné použití klasifikována podle ověření (i) požadavků na vlastnosti materiálu a (ii) požadavků na zajištění kvality (posouzení spolehlivosti), čímž se ocel zařadí do jedné ze tří tříd, jmenovitě třídy A, B nebo C. U opětovně použitých ocelových prvků třídy C se vzhledem k tomu, že je pravděpodobné, že bude k dispozici široká škála jakostních tříd oceli, nedoporučuje předpokládat pevnost v tahu vyšší než 120 MPa pro mez kluzu a 260 MPa pro mez pevnosti.

Ocelové pruty tvářené za studena se obvykle chrání proti korozi kovovými povlaky podle normy EN 10346 (s označením materiálu povlaku Z, ZM, ZA nebo AZ) a v případě potřeby dalším organickým nátěrem podle normy EN 10169 [37]. Pro stanovení gramáže povlaku platí ustanovení normy EN 10346 [36] Typ a rozsah zkoušek, které je třeba provést, jsou uvedeny v tabulce E.8 normy EN 1090-4.

5.7.2 Kritéria pro výběr a podmínky přijetí pro opětovné použití

Pro posouzení možnosti opětovného použití sekundárních ocelových konstrukcí, tj. vaznic a paždíků, jsou v rámci této příručky navržena následující kritéria:

1. Konstrukční prvky (prvky tvořící sekundární konstrukční systém) nebo sekundární konstrukční systém by měly být součástí budovy a neměly by být vystaveny žádným extrémním podmínkám,
2. Při demontáži každého prvku je zajištěna stabilita zbytku konstrukce. Prvky zajišťující příčné podepření se nesmí demontovat před odstraněním hlavních prvků nebo před montáží dočasného ztužení,
3. Konstrukční ocelové prvky by měly být zabaleny, manipulovány a přepravovány bezpečným způsobem, aby nedošlo k trvalým deformacím a aby bylo minimalizováno poškození povrchu. Produkty, s nimiž bylo manipulováno nebo které byly skladovány způsobem nebo po dobu, jenž mohly vést k jejich výraznému poškození, je třeba před použitím zkontrolovat, aby bylo zajištěno, že stále vyhovují příslušné normě pro daný produkt,
4. Nejprve se jednotlivé konstrukční prvky posoudí podle normy CEN/TS 1090-201:2024 [2],
5. Veškerá opětovně použitá ocel má být certifikována podle vlastností průřezu a klasifikována podle systému navrženého v kapitole 5.4.1 tohoto dokumentu,
6. Pokud chybí původní výkresová dokumentace, změří se všechny rozměry součástí/konstrukce, aby se ověřilo, zda splňují tolerance na úrovni průřezu, prutu nebo konstrukčního systému podle normy EN 1090-4. Všechna měření k ověření tvaru průřezu a rozměrů se provádějí ve vzdálenosti nejméně 250 mm od konce

prutů, aby se vyloučil jakýkoli vliv čelního opracování na naměřené výsledky. Tloušťka průřezu se měří na rovných stranách průřezu. Přímost a zkroucení průřezu se kontroluje po celé délce průřezu ležícího na rovné podložce. Délka se měří podél osy největšího povrchu:

- a. Základní a funkční výrobní tolerance pro pruty lisovaných nebo ohýbaných průřezů jsou uvedeny v příloze D normy EN 1090-4,
 - b. Pro válcované pruty platí norma EN 10162 [72] [72]. Záporné tolerance výšky výztuhy průřezu má splňovat následující: (1) záporná tolerance výšky hrany každé jednotlivé výztuhy nesmí být větší než 10 % nominální výšky hrany, maximálně však -2 mm; (2) průměrná tolerance výšky hrany všech výztuh v každém průřezu po délce prutu nesmí být větší než polovina povolené záporné tolerance pro vnější rozměry vymezené jedním poloměrem a volnou hranou. Kladná tolerance je funkční tolerance,
 - c. Tloušťku plechu lze měřit v kterémkoli bodě vzdáleném více než 40 mm od okrajů. Tolerance tloušťky jsou uvedeny v tabulkách 1 až 4 normy EN 10143 [73] a platí po celé délce prutu,
7. Povrch výrobku se vizuálně zkontroluje, aby se ověřila shoda s požadavky v kapitolách 7.4 až 7.6 normy EN 10346 [36]. Povrch povrchové ochrany se může mít proměnlivý vzhled (ztmavnutí v důsledku oxidace). Dostupné gramáže povrchové ochrany by měly být v souladu s tabulkou 11 normy EN 10346. Pro kontrolu tloušťky povrchové ochrany je třeba provést zkoušky NDT. V případě potřeby se použijí metody popsané v příloze A (Z, ZF, ZA a AZ) nebo v příloze B (AS) normy EN 10346,
 8. Opětovně použitý ocelový prvek nebo konstrukční prvek může být označen CE podle normy EN 1090-1.

5.7.3 Požadavky na materiálové vlastnosti

Hodnocení nekonstitučních tenkostěnných prvků tvářených za studena je povoleno v bodě 5.1 normy EN1090-4. Uvádí se, že "pokud mají být použity výrobky složené z prvků, na které se nevztahují normy uvedené v kapitole 5.3, musí být specifikovány jejich vlastnosti".

Mají být stanoveny následující materiálové charakteristiky:

- Mez kluzu nebo 0.2% smluvní mez kluzu ($R_{eH}/R_{p0.2}$) v MPa;
- Mez pevnosti v tahu (R_m) v MPa;
- Protážení při porušení A_{80} mm v %;
- Poměr poloměru zaoblení ku tloušťce stěny, pokud je relevantní;
- Adheze kovové povrchové ochrany;
- Tolerance rozměrů a tvaru, včetně minimální tloušťky.
- Má-li být ocel svařována, musí být její svařitelnost deklarována takto:
- Maximální limit pro ekvivalent uhlíku v oceli, nebo;
- Prohlášení o chemickém složení oceli s dostatečnými podrobnostmi pro výpočet uhlíkového ekvivalentu.

Kromě výše uvedených vlastností je třeba stanovit gramáž a tloušťku povrchové ochrany.

Za předpokladu, že opětovně použitá ocel splňuje všechny příslušné požadavky týkající se materiálových charakteristik a výrobní procesy jsou v souladu s normami EN 1090, nebude mezi novou a opětovně použitou ocelí žádný rozdíl ve výrobních postupech, normách nebo

tolerancích. Proto mohou být opětovně použité ocelové konstrukce označeny CE v souladu s normou EN 1090.

Zkušební režim pro ocelové konstrukce tvářené za studena má umožnit deklarování potřebných vlastností materiálu podle kapitoly 5.3 normy EN 1090-4, a to na základě ověření rozměrů, nedestruktivních zkoušek, destruktivních zkoušek nebo konzervativních předpokladů.

V rozsahu této příručky pro navrhování se jmenovitá mez kluzu pro prvky tvářené za studena pohybuje v rozmezí 220 N/mm² a 550 N/mm². Minimální nominální pevnost v tahu by měla být v rozmezí 300 N/mm² až 560 N/mm². Požadavky na tažnost pro návrh podle normy EN 1993-1-1 jsou uvedeny v tabulce 5.1 (doporučené hodnoty, které mohou být upraveny v národních přílohách).

5.7.4 Posouzení způsobilosti a spolehlivosti

U ocelových konstrukcí tvářených za studena se vyžaduje posouzení spolehlivosti a způsobilosti použití, aby se zajistilo, že opětovně použitý komponent lze použít při navrhování konstrukcí podle normy EN 1993-1-3. Zkušební postup pro posouzení spolehlivosti a způsobilosti použití prvků tvářených za studena je navržen v příloze A

5.7.5 deklarace materiálových vlastností za studena tvářených prvků

Tato část shrnuje vlastnosti oceli, které je třeba posoudit u opětovně použitých ocelových prvků tvářených za studena podle bodu 5.3 normy EN1090-4 (viz tabulka 5.12). K příslušným vlastnostem jsou uvedeny také další komentáře.

Tabulka 5.7 Vyžadované deklaráce materiálových vlastností podle kapitoly 5.3 normy EN 1090-4.

Charakteristika	Nutnost deklaráce	Postup
Mez kluzu nebo 0.2% smluvní mez kluzu ($R_{eH}/R_{p0,2}$)	Ano	Stanovuje se nedestruktivními a destruktivními zkouškami.
Mez pevnosti v tahu (R_m)	Ano	Stanovuje se nedestruktivními a destruktivními zkouškami.
Protážení při porušení A_{80} mm v %	Ano	Stanovuje se destruktivními zkouškami.
Tolerance rozměrů a tvaru, včetně minimální tloušťky	Ano	Stanoveno na základě měření.
Poměr poloměru zaoblení ku tloušťce stěny	Pokud je relevantní	V případě potřeby se stanoví destruktivními zkouškami.
Složení, označení, gramáž a tloušťka kovové povrchové ochrany	Ano	V případě potřeby se stanoví nedestruktivními nebo destruktivními zkouškami a vizuální prohlídky.
Adheze kovové povrchové ochrany	Ano	Stanoví se na základě vizuální prohlídky.
Pokud má být ocel svařována, musí být navíc deklarována její svařitelnost tako:		
Charakteristika	Nutnost deklaráce	Postup
Maximální limit pro ekvivalent uhlíku v oceli, nebo	Pokud je relevantní (obvykle se nevyžaduje, protože se obvykle nepředpokládá svařování).	Uvede se maximální hodnota ze zkušebních certifikátů výrobce.
Prohlášení o chemickém složení oceli s dostatečnými podrobnostmi pro výpočet uhlíkového ekvivalentu		Stanovuje se nedestruktivními a destruktivními zkouškami.

Mez kluzu, mez pevnosti v tahu a protážení

Podle normy EN 10346 [36], se tahové zkoušky provádějí bez povrchové ochrany, dle pokynů uvedených v tabulkách 7 až 11 a podle kapitoly 7.2.5.2 téže normy.

Geometrické tolerance a limity

Geometrické tolerance tvaru musí odpovídat normě EN 10143 [73]. Norma EN 1993-1-3 stanovuje minimální tloušťky stěn ocelových prvků tvářených za studena. Dále musí být rovněž dodržena doporučení normy EN 1090-4.

Poměr poloměru zaoblení ku tloušťce stěny a adheze kovové povrchové ochrany

Vzhledem k tomu, že opětovně použité ocelové prvky jsou již tvarované, provede se u každého z nich vizuální kontrola za účelem posouzení možných trhlin a přilnavosti kovové povrchové ochrany v blízkosti oblasti ohybu. Posouzení adheze má za cíl odhalit jakoukoli přilnavost, která není "dokonalá" (podrobněji viz příloha A).

Složení, označení, gramáž a tloušťka kovové povrchové ochrany

Složení materiálu povrchové ochrany je třeba specifikovat podle normy EN 10346. kapitola 3 normy EN 10346 specifikuje klíčové chemické složky pro každý typ povrchové ochrany. Pro posouzení gramáže je třeba vzít v úvahu oddíl 7.3 normy EN 10346 (viz také příloha A).

Chemické složení

Pro prvky tvářené za studena lze použít normu EN 10346, kde je v tabulce 2 normy uvedeno chemické složení ocelí pro konstrukční použití. Záměrem tohoto prohlášení je umožnit výpočet hodnoty uhlíkového ekvivalentu (CEV), která je klíčovým měřítkem svařitelnosti. Pokud se opětovně použité ocelové prvky tvářené za studena nemají svařovat, není třeba chemické složení posuzovat (podrobnější informace viz příloha A).

5.7.6 Životnost

Při demontáži může dojít k poškození ocelové konstrukce a zejména povrchové ochrany. Tloušťka povrchové ochrany klesá v průběhu času (rychlost závisí na prostředí budovy/ocelové konstrukce), to znamená, že se snižuje gramáž nátěru pro další životní cykly, čímž se snižuje životnost celé ocelové konstrukce. Proto je nezbytné, aby zkušební protokol posuzoval zbývající/dostupnou gramáž povlaku opětovně použité ocelové konstrukce tvářené za studena.

5.8 Ocelobetonové vodorovné konstrukce

Ocelobetonové konstrukce vhodně kombinují nejlepší vlastnosti oceli a betonu. Hlavní výhodou je tvorba lehkého, pevného a odolného systému, který urychluje výstavbu a nabízí vysokou únosnost a požární odolnost. V tradičních konstrukcích vzhledem k trvalému spojení oceli a betonu nelze ocelobetonové konstrukce po dokončení stavby znovu použít v původní podobě. I když je nelze přímo opětovně použít, lze ocel i beton recyklovat a připravit ekologicky odpovědný způsob likvidace.

5.9 Obvodový plášť

Na kompozitní panely se vztahuje norma EN 14509 - *Samonosné sendvičové panely s tepelnou izolací a povrchovými plechy - Prefabrikované výrobky - Specifikace* [74]. U panelů vyrobených po roce 2004 jsou klíčové informace k dispozici na štítku umístěném na samotném panelu, který obsahuje výrobce, datum výroby a údaje o panelu, včetně typu jádra. Od roku 2000 se jako plnicí plyn pro jádro používá pentan, který neobsahuje CFC (chlorfluoruhlovodík) ani H-CFC (hydrochlorfluoruhlovodík).

Na střešní krytiny a obkladové plechy se vztahuje norma EN 14782 - *Samonosné plechové výrobky pro střešní krytiny a vnější a vnitřní obklady - Specifikace výrobku a požadavky* [75].

Jsou navržena doporučení pro vyhodnocení možností opětovného použití sendvičových panelů. Pro hodnocení bezpečnostních aspektů pro opětovné použití se používají pravidla uvedená v normě EN 1990 (bezpečnostní součinitele) a pravidla uvedená v harmonizované normě pro výrobky EN 14509 pro typ zkoušek základních vlastností. Základním požadavkem pro omezené množství zkoušek je, aby bylo známo jméno výrobce a aby byla dostupná také kopie původních deklarovanych hodnot (hodnot udávaných výrobcem). To

může omezit použití omezeného rozsahu zkoušení pro panely starší 25 let z důvodu nedostatku obecně známých předpisů, pokud nebyly vyrobeny na základě národních typových povolení s existujícími typovými zkouškami a kontrolou třetí strany. V ostatních případech se doporučuje plný zkušební program podle pravidel uvedených v normě EN 14509.

Hodnocení potenciálu pro opětovné použití sendvičových panelů je následující:

- Architektonické a estetické,
- Na základě vlastností; hodnocení základních vlastností podle normy EN 14509.

Vizuálně se kontroluje změna barvy povrchu nebo jeho poškození.

5.9.1 Kritéria pro výběr a podmínky přijetí

Mechanické vlastnosti panelů, které mají být deklarovány a určeny na základě typových zkoušek, jsou v souladu s normou EN 14509:

- pevnost při vrásnění,
- pevnost ve smyku a smykový modul pružnosti,
- součinitel dotvarování (pouze pro stálá zatížení),
- pevnost v tlaku a modul pružnosti v tlaku,
- pevnost v tahu a modul pružnosti v tahu,
- trvanlivost,
- tolerance.

Referenční úrovní mechanických vlastností jsou hodnoty deklarované výrobcem v době dodání panelů. Tato referenční úroveň se dále nazývá nulová úroveň.

Vyhodnocení možného zhoršení mechanických vlastností panelu se nejprve provede porovnáním úrovně pevnosti panelu v příčném s hodnotou odpovídající nulové úrovni. Pokud je zaznamenána značná degradace (o více než 10 % nižší charakteristická hodnota ve srovnání s deklarovanou hodnotou), zkouší se pevnost panelu ve smyku a pevnost v tlaku. Charakteristická hodnota pevnosti panelu ve smyku, stanovená na vzorcích panelů odebraných z demontovaných panelů, je hodnotou použitou pro návrh při opětovném použití panelů.

Střední hodnota modulu pružnosti ve smyku se měří u panelů, které mají být znovu použity. U pevnosti ve vrásnění, pevnosti v tlaku a modulu pružnosti se původně deklarované hodnoty sníží o poměr charakteristické pevnosti ve smyku k původně deklarované pevnosti ve smyku. Tento postup je konzervativní, protože zkušenosti ukazují, že stárnutí ovlivňuje především příčnou pevnost panelů v tahu a pevnost panelů ve smyku. Výsledky zkoušek demontovaných panelů z konce 90. let 20. století ukazují, že rychlost stárnutí v pevnosti ve vrásnění je přibližně poloviční oproti stárnutí pevnosti ve smyku. Součinitele bezpečnosti materiálu se navrhuje stejně jako na základě zkoušek původního typu.

Doporučuje se zkoušet vzorky odebrané z demontovaných panelů, a konkrétně pevnost panelu v příčném tahu, jak je uvedeno v části A1 normy EN 14509. Počet vzorků by měl být nejméně 3 a maximálně 10, což povede k větší přesnosti výsledků. Hustota vzorků se měří ze vzorků odebraných v blízkosti vzorků pro pevnost v tahu.

5.9.2 Pevnost v tahu

Charakteristická hodnota pevnosti v tahu se porovná s původní deklarovanou hodnotou. Pokud dojde k degradaci na úrovni nižší než 10 %, lze panely znovu použít s použitím původně deklarovaných vlastností pro všechny mechanické pevnostní vlastnosti. Pokud je degradace vyšší než 10 %, měla by být odebrána sada vzorků pro zkoušení pevnosti ve smyku a smykového modulu pružnosti a pevnosti v tlaku a modulu pružnosti v tlaku. Měly by být odebrány nejméně 3 vzorky, nejlépe 5 pro zkoušky ve smyku a 10 pro zkoušky v tlaku.

5.9.3 Pevnost ve smyku

U vzorků odebraných z demontovaných panelů se zkouší pevnost ve smyku a modul pružnosti ve smyku. Pokud zhoršení pevnosti v tahu není větší než 10 %, provede se jedna zkouška ve smyku. Výsledek zkoušky musí být minimálně stejný jako deklarovaná hodnota. Zkoušky v plném rozsahu se provedou, pokud se pevnost panelu v příčném tahu zhoršila o více než 10 % oproti původní deklarované pevnosti v tahu. Charakteristická hodnota se vypočítá pro pevnost ve smyku. Tato hodnota se použije pro návrh panelů, které mají být znovu použity.

5.9.4 Pevnost v tlaku

Pevnost v tlaku se zkouší u vzorků odebraných z demontovaných panelů. Zkoušky se provádějí, pokud se pevnost panelu v příčném tahu zhoršila o více než 10 % oproti původní deklarované pevnosti v tahu. Pro pevnost v tlaku se vypočítá charakteristická hodnota. Tato hodnota se použije pro návrh panelů, které mají být znovu použity.

5.9.5 Ohybový moment / únosnost při vrásnění

Pro ohybový moment nebo pevnost v tahu lze použít původně deklarovanou hodnotu, pokud došlo k poklesu pevnosti v tahu o méně než 10 %. Pokud je degradace vyšší, pak se buď únosnost při vrásnění sníží stejným poměrem jako pevnost ve smyku ve srovnání s původně deklarovanou pevností ve smyku, nebo se únosnost při vrásnění zkouší na demontovaných panelech. Charakteristická hodnota výsledků zkoušek se pak použije pro návrh panelů, které mají být znovu použity.

5.9.6 Součinitele spolehlivosti materiálu

Použijí se hodnoty materiálových součinitelů bezpečnosti stanovené původním typovým testem. Alternativně lze použít součinitele bezpečnosti stanovené na základě zkoušek demontovaných panelů vypočtené podle kapitoly A.16 normy EN 14509.

5.9.7 Životnost

Zkoušku životnosti je nutné opakovat pouze v případě, že dojde k poklesu pevnosti v tahu o více než 10 %. V takovém případě se vyžaduje pouze zkouška krátkodobé životnosti (14 dní, viz EN 14509 příloha B, bod B.2.4, pro všechny ostatní typy jader kromě minerální vlny, a 7 dní pro jádro z minerální vlny, viz EN 14509 příloha B, bod B.3.4). U panelů s jádrem z minerální vlny musí být degradace vlastností menší než 15 % a u všech ostatních typů menší než 17 %.

5.9.8 Tolerance

Tolerance by měly být vizuálně zkontrolovány, a pokud je zjištěna odchylka, zkontroluje se, zda jsou panely vhodné k dalšímu použití.

5.9.9 Tepelné vlastnosti

U sendvičových panelů s polyuretanovým (PU) jádrem, pokud dojde ke snížení poměru uzavřených buněk (viz ISO 4590) o více než 10 %, je nutné znovu testovat tepelnou vodivost a následně musí být stanovena nová návrhová hodnota (EN 14509, čl. A.10).

5.9.10 Požární bezpečnost

U panelů s jádrem z materiálů se zpomalovači hoření se musí znovu provést zkouška chování při malém plamenu, aby se ověřilo, že účinek zpomalovačů hoření je stále aktivní. V opačném případě může být nutná změna klasifikace.

5.9.11 Certifikace

Postupy pro hodnocení a certifikaci pro opětovné použití sendvičových panelů je uveden v tabulce 5.13

Tabulka 5.8 Shrnutí postupu hodnocení potenciálu opětovného použití sendvičových panelů

Kritérium hodnocení	Charakteristika
Mechanická pevnost	
Zkouška pevnosti panelu v příčném tahu, minimálně 3 vzorky (EN 14509, A1): Výpočet charakteristické hodnoty pevnosti v tahu. Zkouška jednoho vzorku pro stanovení pevnosti ve smyku (EN 14509, A.3 nebo A.4)	
1. Pevnost v tahu Skutečná hodnota $\geq 0.9 \times$ deklarovaná hodnota, a	Pokud ANO, není třeba provádět žádné další testy. Lze použít všechny deklarované hodnoty mechanických pevností.
2. Pevnost ve smyku Skutečná hodnota $\geq 0.9 \times$ deklarovaná hodnota	Pokud NE, stanoví se nové deklarované hodnoty pomocí zkušebního programu podle EN 14509 pro (i) pevnost v tahu, (ii) pevnost v tlaku a (iii) pevnost ve smyku. Pevnost při vrátnění se sníží o stejnou hodnotu, o jakou se sníží pevnost ve smyku.
Životnost	
Pevnost v tahu Skutečná hodnota $\geq 0.9 \times$ deklarovaná hodnota	Pokud ANO, není třeba provádět žádné další testy. Panely jsou způsobilé k použití. Pokud NE: Pro panely MiWo: Je třeba provést 7denní testování (viz EN 14509, bod B.3.4). Snížení pevnosti v tahu po stárnutí nesmí překročit 15 % střední hodnoty pevnosti v tahu při okolní teplotě. Pro všechny ostatní typy panelů: Postupuje se podle normy EN 14509 příloha B.2 tak, aby byly panely zkoušeny po dobu 14 dnů při teplotě uvedené v bodě B.2.4 normy. Snížení pevnosti v tahu po stárnutí nesmí překročit 17 % střední hodnoty pevnosti v tahu při okolní teplotě.
Tolerance	
Poškození se hodnotí vizuálními prohlídkami	Pokud nejsou zjištěna žádná závažná poškození nebo závady, lze panel znovu použít. Pokud jsou zjištěna závažná poškození způsobující pokles pevnosti, izolačním chování nebo těsnosti spojů, jsou tyto panely vyřazeny.
Obsah vlhkosti	
Vlhkost materiálu jádra	Pokud není zjištěna výrazná vlhkost materiálu jádra, lze panely znovu použít.
Tepelné vlastnosti	
Pro PU panely: 1. Poměr uzavřených buněk Skutečná hodnota $\geq 0.9 \times$ Hodnota získaná typovou zkouškou a 2. Změna hustoty < 10%	Pokud ANO, není nutné provádět další zkoušky; lze použít původní hodnotu tepelné vodivosti. Pokud NE, je třeba provést novou zkoušku pro stanovení tepelné vodivosti podle pravidel uvedených v kapitole A.10 normy EN 14509.
Požární bezpečnost	
Zkoušky malým plamenem, viz kapitola C.1.2 of EN 14509	Zkoušky, které je třeba provést s materiálem jádra včetně zpomalovačů hoření. Zkontroluje se klasifikace a v případě potřeby se provede změna klasifikace. Panely jsou způsobilé k použití a splňují požadavky v projektu pro opětovné použití.

6 GLOBÁLNÍ ANALÝZA A NÁVRH STÁVAJÍCÍCH KONSTRUKCÍ

Tato část se zabývá aspekty, které mohou ovlivnit návrh konstrukcí složených z opětovně použitých ocelových prutů. Dodržují se zásady navrhování podle mezních stavů. Lze použít pravidla pro únosnost a použitelnost, která jsou uvedena v částech 1.1 a 1.8 normy EN 1993 s použitím dílčích součinitelů spolehlivosti γ_M a stejných metod analýzy a navrhování.

Konstrukce vyrobené z opětovně použitých ocelových komponent (nebo obsahující tyto komponenty) musí splňovat stejné podmínky, jaké jsou uvedeny v normě EN 1990. Pro zbývající zamýšlenou životnost musí být konstrukce navržena a vyrobena podle následujících podmínek:

- Konstrukce odolá všem účinkům, které by mohly nastat v důsledku únosnosti dílčích prvků,
- Konstrukce si zachová použitelnost t hlediska funkčnosti a životnosti,
- Konstrukce splní moderní předpisy v oblasti konstrukční integrity.

V evropské praxi se budovy kromě zemědělských, dočasných a památkových navrhují na předpokládanou životnost 50 let, což se odráží v charakteristických hodnotách zatížení uvedených v normě EN 1991 a v dílčích součinitelích, které se k těmto zatížením vztahují. Délka životnosti ovlivňuje návrhové hodnoty účinků zatížení, nikoli však níže uvedená ověření odolnosti a použitelnosti.

Konstrukce musí vykazovat adekvátní tažnost a houževnatost. Typické návrhové předpoklady a postupy podle Eurokódu předpokládají minimální úroveň tažnosti, která umožní ohýbaným prutům dosáhnout plastické únosnosti průřezu a umožní dosažení meze kluzu v tahu bez porušení v místech koncentrace napětí. Ve skutečnosti se konstruktér spoléhá na tažnost v řadě aspektů návrhu, včetně přerozdělení napětí v mezním stavu únosnosti (MSÚ), při návrhu skupin šroubů a v procesu výroby při svařování, ohýbání a rovnání. Při navrhování konstrukcí s použitím opětovně využití oceli lze potenciální snížení tažnosti a houževnatosti obecně zanedbat. Je tomu tak proto, že za běžných provozních podmínek budov jsou požadavky na deformace obvykle menší než 1,5 % a tyto nízké úrovně deformace nemají významný vliv na vlastnosti konstrukce.

Ve většině případů lze očekávat, že opětovně použité ocelové pruty budou fungovat tak, jako nové pruty, bez zohlednění jakýchkoli změn vlastností materiálu. Geometrické nedokonalosti však mohou ovlivnit únosnost prutu ve vzpěru, a proto může být nutné zvýšit příslušný dílčí součinitel spolehlivosti.

6.1 Dosažení spolehlivosti

Použití metody dílčích součinitelů vyžaduje definování návrhových hodnot účinků zatížení, vlastností materiálu a výrobku, geometrických údajů a nejistot modelu. Návrhové hodnoty zatížení, Q_d , se získají z charakteristických hodnot, Q_k , na základě 50leté referenční návrhové životnosti a odpovídající cílové spolehlivosti. Cílová hodnota indexu spolehlivosti β je vztahena k pravděpodobnosti poruchy, P_f , odpovídající stanovenému referenčnímu období takto:

$$P_f = \Phi(-\beta) \quad (6.1)$$

kde $\Phi(\)$ je standardní normální kumulativní distribuční funkce pravděpodobnosti.

Účinky zatížení působící na konstrukci jsou stanoveny v EN 1991-1-1 [10]. Vlastní tíha a užitná zatížení se nevztahují na referenční období, a proto lze i nadále používat běžné 50leté referenční období. Pro zatížení sněhem a působení větru uvádí norma EN 1991 upravené hodnoty pro jiná referenční období než 50 let v příloze D normy EN 1991-1-3 [11] pro zatížení sněhem a poznámku 4 v kapitole 4.2 normy EN 1991-1-4 [12] pro zatížení větrem.

Norma EN 1990 [9] definuje pět tříd následků (CC) v závislosti na následcích poruchy nebo funkční nezpůsobilosti konstrukce a pro tři z nich stanoví následující pravidla pro navrhování:

- CC1: *malé* následky s ohledem na ztráty lidských životů nebo *malé/zanedbatelné* následky ekonomické, sociální nebo pro prostředí, $\beta_{50\text{-let}} = 3,3$,
- CC2: *střední* následky s ohledem na ztráty lidských životů nebo *značné* následky ekonomické, sociální nebo pro prostředí, $\beta_{50\text{-let}} = 3,8$,
- CC3: *velké* následky s ohledem na ztráty lidských životů nebo *velmi významné* následky ekonomické, sociální nebo pro prostředí, $\beta_{50\text{-let}} = 4,3$.

Je také třeba poznamenat, že návrhy s dílčími součiniteli uvedenými v Eurokódech obecně vedou ke konstrukci s hodnotou β větší než 3,8 pro referenční období 50 let.

Návrhová životnost konstrukce není v normě EN 1990 výslovně spojena s třídou následků a lze ji chápat jako dobu, po kterou má být konstrukce používána k určenému účelu, s předpokládanou údržbou, ale bez větších oprav. Příloha A.1.4 normy EN 1990 uvádí následující kategorie spolu s návrhovou životností pro trvalé konstrukce:

- Zemědělské a podobné stavby / Vyměnitelné konstrukční části s návrhovou životností 25 let (kategorie 2),
- Stavební konstrukce, které nespádají do jiné kategorie, s návrhovou životností 50 let (kategorie 3),
- Monumentální stavební konstrukce s projektovanou životností 100 let (kategorie 4).

Konstrukce nebo jejich části, které lze demontovat za účelem opětovného použití, by neměly být klasifikovány jako dočasné konstrukce.

Od konstrukcí navržených podle Eurokódů se očekává, že budou fungovat a zůstanou způsobilé po příslušnou návrhovou životnost. U typických budov je tato životnost obvykle 50 let, tj. kategorie 3, což odpovídá indexu spolehlivosti $\beta_{50\text{-let}} = 3,8$, nebo $\beta_{1\text{-rok}} = 4,7$, což odpovídá pravděpodobnosti poruchy $\sim 10^{-4}$ / rok. Pokud je konstrukce určena pro kratší návrhovou životnost, může být odůvodněný nižší cílový index spolehlivosti. To by odpovídalo $\beta_{50\text{-let}} < 3,8$ pro období 50 let. Podle normy ISO 13822 [76], avšak by měla být zachována minimální hodnota $\beta_{50\text{-let}} > 3,8$, aby byla zajištěna bezpečnost osob. Naopak, pokud je návrhová životnost prodloužena například na 100 let, byla by vhodná hodnota $\beta_{50\text{-let}} > 3,8$, která odráží větší požadavek na spolehlivost v průběhu 50letého referenčního období. Je třeba poznamenat, že tyto hodnoty β jsou cílovými hodnotami používanými při

návrhu k zajištění konzistentní úrovně spolehlivosti. Představují teoretické referenční hodnoty a nemusí nutně odrážet skutečnou míru poruchovosti. Gulvanessian a kol. [77] jasně vysvětlují, že indexy β se používají jako pracovní hodnoty pro účely kalibrace norem a pro porovnání úrovně spolehlivosti konstrukcí, které přirozeně závisí na návrhové životnosti a používají se v celém systému zatížení - únosnost - dílčí součinitele.

Různá opatření ke snížení rizika poruchy lze v omezené míře zaměňovat, pokud je zachována požadovaná úroveň spolehlivosti. Při navrhování z opětovně použité oceli může být nutné kompenzovat mírně nižší dílčí součinitel spolehlivosti vysokou úrovní řízení kvality, kontroly a inspekce konstrukce. To je příklad rozlišení spolehlivosti podle požadavků na úroveň kvality.

Diferenciaci spolehlivosti lze také uplatnit prostřednictvím (i) dílčích součinitelů zatížení γ_F , nebo (ii) dílčích součinitelů bezpečnosti, γ_M , což je rozvedeno níže. Obvykle se dává přednost první možnosti.

6.1.1 Dílčí součinitele zatížení

Dílčí součinitele zatížení umožňují zohlednit při návrhu proměnlivost zatížení. Ve většině případů se pravděpodobnost poruchy zvyšuje uvažováním většího než charakteristického zatížení, ale stejný účinek na zvýšení pravděpodobnosti poruchy může mít i uvažování menšího než charakteristického zatížení vlastní tíhou.

Uvažovaná zatížení pro trvalé a dočasné (základní) návrhové situace by měla zahrnovat:

- Návrhovou hodnotu rozhodujícího proměnného zatížení;
- Návrhové kombinační hodnoty vedlejších proměnných zatížení.

Při použití součinitelů pro zatížení, se kombinace zatížení ΣF_d pro stálé a dočasné (základní) návrhové situace mají vypočítat podle normy EN 1990:2023, a to jedním z následujících způsobů:

- vztah (8.12) normy EN1990:2023 nebo (6.2) níže; nebo
- nejnepříznivější ze dvou výrazů ve vztahu (8.13) normy EN1990:2023 nebo (6.3) níže; nebo
- nejnepříznivější ze dvou výrazů ve vztahu (8.14) normy EN1990:2023 nebo (6.4) níže.

$$\Sigma F_d = \sum_i \gamma_{G,i} G_{k,i} + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{j>1} \gamma_{Q,j} \psi_{0,j} Q_{k,j} \quad (6.2)$$

nebo

$$\Sigma F_d = \begin{cases} \sum_i \gamma_{G,i} G_{k,i} + \gamma_{Q,1} \psi_{0,1} Q_{k,1} + \sum_{j>1} \gamma_{Q,j} \psi_{0,j} Q_{k,j} \\ \sum_i \xi_i \gamma_{G,i} G_{k,i} + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{j>1} \gamma_{Q,j} \psi_{0,j} Q_{k,j} \end{cases} \quad (6.3)$$

nebo

$$\Sigma F_d = \left\{ \begin{array}{l} \Sigma_i \gamma_{G,i} G_{k,i} \\ \Sigma_i \xi_i \gamma_{G,i} G_{k,i} + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \Sigma_{j>1} \gamma_{Q,j} \psi_{0,j} Q_{k,j} \end{array} \right. \quad (6.4)$$

kde

F_d	je návrhová hodnota zatížení;
Σ	značí kombinaci příslušných proměnných;
$\gamma_{G,i}$	je dílčí součinitel i -tého stálého zatížení;
$G_{k,i}$	je charakteristická hodnota i -tého stálého zatížení;
$\gamma_{Q,1}$	je dílčí součinitel rozhodujícího proměnného zatížení;
$\psi_{0,1}$	je kombinační součinitel rozhodujícího proměnného zatížení (v případě použití);
$Q_{k,1}$	je charakteristická hodnota rozhodujícího proměnného zatížení;
$Q_{k,j}$	je charakteristická hodnota vedlejšího j -tého proměnného zatížení;
$\psi_{0,j}$	je kombinační součinitel vedlejšího j -tého proměnného zatížení;
$\gamma_{Q,j}$	je dílčí součinitel j -tého proměnného zatížení;
ξ	je redukční součinitel používaný pro nepříznivé účinky stálého zatížení, uvažován hodnotou 0,85, pokud národní přílohy neuvádějí jinak.

Za předpokladu, že variační koeficient stálého zatížení G je malý, zatížení má být uvažováno jedinou charakteristickou hodnotou G_k . Použije-li se pouze charakteristická hodnota G_k , pak lze její hodnotu považovat za střední hodnotu G . Není-li nejistota G malá nebo je-li konstrukce citlivá na změny v její hodnotě nebo prostorovém rozložení, pak by stálé zatížení G mělo být reprezentováno horní a dolní charakteristickou hodnotou $G_{k,sup}$, respektive $G_{k,inf}$. Horní charakteristická hodnota $G_{k,sup}$ by měla být zvolena jako 95% kvantil a dolní charakteristická hodnota $G_{k,inf}$ jako 5% kvantil statistického rozdělení G .

Kombinace zatížení pro mezní stav únosnosti se součiniteli zatížení mají být zvoleny v závislosti na návrhové situaci podle:

- Tabulky A.1.3, při použití vztahu (8.12); nebo
- Tabulky A.1.4, při použití vztahu (8.13); nebo
- Tabulky A.1.5, při použití vztahu (8.14) normy EN1990:2023.

Pokud jsou návrhové hodnoty zatížení pro stálé a dočasné (základní) návrhové situace zvoleny podle tabulky A.1.4 nebo tabulky A.1.5 normy EN1990:2023, pak se ověří nejnepříznivější z obou výrazů v příslušném vzorci pro kombinaci zatížení.

Při posouzení a modernizaci stávajících konstrukcí je běžnou praxí snížit požadovanou úroveň bezpečnosti, pokud nejsou překročena kritéria pro zajištění bezpečnosti osob, viz reference [78] a [79]. Je to odůvodněno tím, že u stávajících konstrukcí se často předpokládá a akceptuje kratší návrhová životnost. Podobně u opětovně použitých ocelových konstrukcí je rozumné zvážit možnost předpokládat kratší návrhovou životnost, například 15-30 let (kategorie 2 výše).

6.1.2 Možné scénáře pro přijetí kratší životnosti konstrukce

V předchozí části bylo řečeno, že při navrhování konstrukcí z opětovně využívaných prvků, za předpokladu kratší předpokládané životnosti, by se mohly kombinační součinitele pro akce mírně snížit. Doporučuje se, aby tato možnost vyžadovala vyšší úroveň kontroly řízení kvality a inspekce konstrukce.

U nové budovy musí být splněny požadavky na spolehlivost podle normy EN 1990 (i v případě použití opětovně použitých prvků). Příklady, kdy lze použít nižší hodnoty dílčích součinitelů pro návrhovou životnost 15-30 let, jsou následující: (i) modernizace stávajících budov nebo (ii) případy, kdy je celá budova přemístěna na jiné místo.

Při navrhování nové konstrukce, kdy je využito opětovné použití oceli, je možné upravit konstrukční řešení, například rozteče podlahových nosníků nebo ráků, aby účinky zatížení na opětovně použité prvky zůstaly v přijatelných mezích. Tímto způsobem může konstrukce splnit standardní požadavky na spolehlivost pro návrhovou životnost 50 let podle normy EN 1990. Tento přístup umožňuje dodržet postup navrhování podle Eurokódu a zároveň zohlednit variabilitu, která je vlastní opětovně použitým ocelovým prvkům.

6.1.3 Dílčí součinitele spolehlivosti materiálu

Dílčí součinitele spolehlivosti materiálu definované v normě EN 1993-1-1 jsou shrnuty v tabulce 6.1. Charakteristické hodnoty únosnosti se vydělí příslušnými dílčími součiniteli, aby se získaly návrhové hodnoty únosnosti. Hodnoty součinitelů jsou stanovené na národní úrovni a mohou být upraveny v národní příloze, která přísluší normě EN 1993-1-1 v každé zemi, viz tabulka 6.2. Hodnoty v těchto tabulkách jsou uvedeny pro nové oceli a byly získány ze zkušebních údajů shromážděných v letech 1969 až 1980, viz [80] a [81], a později, v roce 2002 [82].

Opětovné použití oceli bylo omezeno na budovy vyrobené a postavené po roce 1970. Je tedy nepravděpodobné, že by se vlastnosti oceli lišily od ocelí použitých při kalibraci dílčích součinitelů pro ověření únosnosti průřezu γ_{M0} a γ_{M2} . Oba součinitele zohledňují nejistotu pevnosti materiálu, takže skutečná pevnost oceli se může lišit od pevnosti použité ve výpočtech. Projektant ocelové konstrukce tedy může v návrzích se zahrnutím opětovně použité oceli bezpečně přijmout stejné hodnoty z tabulky 6.1 pro γ_{M0} a γ_{M2} .

Tabulka 6.1 Dílčí součinitele γ_M pro stanovení únosnosti podle souboru norem EN 1993

Dílčí součinitel		Doporučená hodnota (CEN)
γ_{M0}	Dílčí součinitel únosnosti průřezu kterékoliv třídy	1.00
γ_{M1}	Dílčí součinitel únosnosti průřezu při posuzování stability prutu	1.00
γ_{M2}	Dílčí součinitel únosnosti průřezu při porušení v tahu	1.25

Tabulka 6.2 Dílčí součinitele γ_M pro stanovení únosnosti podle národních příloh*

Dílčí součinitel	Rakousko	Belgie	Dánsko	Finsko	Francie	Německo ⁽ⁱ⁾	Itálie	Irsko	Nizozemsko	Norsko	Portugalsko	Rumunsko	Španělsko	Švédsko	Velká Británie
γ_{M0}	1.00	1.00	1.10	1.00	1.00	1.00	1.05	1.00	1.00	1.05	1.00	1.00	1.05	1.00	1.00
γ_{M1}	1.00	1.00	1.20	1.00	1.00	1.10	1.05	1.00	1.00	1.05	1.00	1.00	1.05	1.00	1.00
γ_{M2}	1.25	1.25	1.35	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25	a	1.10
$a = \min \left(1.10, \frac{0.9f_u}{f_y} \right); \text{ } ^{(i)} \text{ Pro nelineární analýzu se má uvažovat } \gamma_{M0} = 1.10$															
*Hodnoty dílčích součinitelů odpovídají normě EN 1993-1-1 vydané v roce 2006.															

Dílčí součinitel γ_{M1} se používá při navrhování prutů (nosníků a sloupů) náchylných ke ztrátě stability. Problém stability vyžaduje zohlednění vlastností materiálu a také řady důležitých faktorů, které se obvykle sdružují do skupiny imperfekcí, mezi něž patří počáteční geometrická imperfekce, náhodné excentricity zatížení a reziduální pnutí. Návrh je obvykle založen na koncepci vzpěrnostních křivek, které popisují vztah mezi únosností ve vzpěru a bezrozměrné štíhlosti prutu. Přestože opětovně použité pruty musí splňovat všechny geometrické tolerance, může být za určitých okolností rozumné uvažovat pro ověření stability vyšší hodnotu součinitele γ_{M1} . Tím je zajištěna dodatečná rezerva v únosnosti pro zohlednění nejistot souvisejících s historií materiálu, možnými imperfekcemi a variabilitou, která není plně zachycena ve standardních předpokladech návrhu. Možný přístup je uveden v příloze B.

Pokud je konstrukce ponechána na původním místě (opětovné použití na místě), není důvod zvyšovat požadované úrovně bezpečnosti. To znamená, že hodnoty $K_{\gamma_{M1}}$ pro stávající prvky z uhlíkové oceli postavené po roce 1970 lze pro takový scénář opětovného použití považovat za rovné 1. Hodnota $K_{\gamma_{M1}}$ souvisí také s nejistotou při vícenásobné přepravě, demontáži, montážních procesech a také při zkušebních postupech pro posouzení geometrických imperfekcí. Protože většina nejistot není přípustná, pokud budova zůstane na původním místě, lze použít hodnotu $K_{\gamma_{M1}} = 1.0$.

6.2 Globální analýza

Globální analýza konstrukce pro MSÚ se provede podle zásad normy EN 1993-1-1 s náležitým zohledněním globálních (účinky $P-\Delta$ pro konstrukci) a místních (účinky $P-\delta$ pro prut) imperfekcí a účinků druhého řádu.

Globální analýza může být také prvního nebo druhého řádu v závislosti na horizontální tuhosti konstrukce, což určuje, zda zanedbání účinků druhého řádu může vést k podhodnocení vnitřních sil a ohybových momentů. U konstrukcí citlivých na globální účinky

druhého řádu se doporučuje zohlednit globální účinky $P-\Delta$ pomocí geometrické nelineární analýzy (obvykle prováděné pomocí softwaru) nebo pomocí zvětšujícího součinitele podle kapitoly 7.2.2(12)-(13) normy EN 1993-1-1.

Při navrhování konstrukcí v rámci opětovného využití se doporučuje provést pružnou globální analýzu, aby se zjistily vnitřní síly a deformace konstrukce. Geometricky lineární analýza má tu výhodu, že lze použít superpozici vnitřních sil z různých zatěžovacích stavů. V závislosti na třídě průřezu lze návrh prutů provést na základě plastické nebo pružné únosnosti průřezu podle normy EN 1993-1-1.

Podmínky spolehlivosti (únosnosti) prutů v MSÚ zajišťují bezpečnost konstrukce a musí být splněny. Ověření, zda konstrukce nebo prut splňuje tyto podmínky, je provedeno na základě ustanovení normy pro navrhování EN 1993-1-1 (viz kapitola 6.3).

Mezní stav použitelnosti, MSP, popisuje funkční vlastnosti konstrukce a obvykle vychází z očekávání vlastníka budovy, který musí specifikovat vlastní kritéria, jež mají být splněna. Kritéria v rámci MSP nejsou významné z hlediska bezpečnosti, ale mohou zhoršit kvalitu užívání a životnost budovy, například tím, že vzniknou trhliny a netěsnost v důsledku nadměrného průhybu opláštění (viz kapitola 6.5).

6.3 Mezní stav únosnosti

6.3.1 Navrhování prutů - únosnost průřezu

Pravidla stanovená v kapitole 8.2 normy EN 1993-1-1 lze při posouzení únosnosti průřezu použít bez omezení s ohledem na třídy průřezu z kapitoly 7.5. Modely únosnosti by měly vycházet z vlastností plného, případně oslabeného průřezu. Projektant ocelové konstrukce může bez obav přijmout hodnoty γ_{M0} a γ_{M2} podle příslušné národní přílohy normy EN 1993-1-1 (viz kapitola 6.2.3).

6.3.2 Navrhování prutů - stabilita

Při ověřování stability prutů je třeba zohlednit lokální imperfekce podle bodu 7.3.3 normy EN 1993-1-1. Obvykle se to řeší implicitně v rámci postupů pro stanovení únosnosti prutů dle kapitoly 8.3. V případě opětovně použitých prutů se doporučuje nahradit součinitel γ_{M1} součinitelem $\gamma_{M1,mod}$ (viz kapitola 6.1.3).

Obecně se pro stanovení vzpěrné únosnosti uvažují charakteristiky celého průřezu konstrukčních prvků. Pokud se však otvory pro šrouby nacházejí v kritickém průřezu (maximální vnitřní průřezové síly) a zmenšují průřez o více než 15 % v kritickém segmentu prutu, měly by se při posouzení použít vlastnosti oslabeného průřezu [58]. Relativní (neboli bezrozměrná) štíhlost by však měla být vždy stanovena pro celý průřez.

6.3.3 Navrhování spojů

Návrh spojů má vycházet z části 1-8 normy EN 1993 s použitím stanovených dílčích součinitelů γ_M . Pro ověření lokálního boulení, např. u pásnice sloupu v příčném tlaku u momentových přípojů, není třeba upravovat dílčí součinitel γ_{M1} .

Pokud jsou ocelové prvky, které budou znovu použity, spojeny svařováním, lze předpokládat, že materiál svaru má stejnou pevnost jako základní materiál ocelové konstrukce [58]. Doporučuje se však, aby byly stávající svary pečlivě zkontrolovány.

Třídu oceli spojovaných plechů lze považovat za stejnou, jako třídu základního materiálu konstrukčních prvků, které jsou s nimi spojeny.

Osvědčené postupy pro navrhování spojů podle normy EN1993-1-8 lze nalézt v referencích [83] a [84].

6.3.4 Návrh hlavní nosné konstrukce

Předchozí podkapitoly se zabývaly chováním jednotlivých prutů za předpokladu, že jsou známy hodnoty zatížení i okrajové podmínky. Návrh prutů v konstrukci přirozeně závisí na způsobu jejich spojení a vede k následujícím typům: (i) konstrukce s kloubovými spoji, (ii) konstrukce s tuhými spoji a (iii) konstrukce s polotuhými spoji.

V konstrukci s kloubovými spoji jsou tyto spoje kloubové, takže mají malou rotační tuhost a nepřenášejí ohybové momenty. To umožňuje navrhnout všechny pruty v podstatě jako prostě podepřené.

V konstrukci s tuhými spoji jsou tyto spoje rotačně tuhé a přenášejí mezi pruty značné momenty. V tomto případě lze pruty i nadále navrhovat odděleně za předpokladu, že je zohledněn přenos ohybových momentů mezi pruty skrz přípoje. To lze provést pomocí globální pružnosti.

Bod 7.2.2 normy EN 1993-1-1 připouští všechny formy geometrických a materiálových imperfekcí v globální analýze soustavy při výpočtu druhým řádem. Tento přístup vyžaduje specializovaný software a v praxi se používá jen zřídka. Nejpravděpodobnější volbou je možnost b) odstavci 7.2.2(2), která umožňuje oddělené zohlednění všech imperfekcí a uvažuje globální, tj. patrový posun v globální analýze a lokální imperfekce při návrhu prutů. Podrobnosti o způsobech, jakými by měly být zahrnuty globální imperfekce soustavy, jsou uvedeny v kapitole 7.3.2.

Trvalé ztužující systémy jsou navrženy tak, aby odolávaly:

- Vodorovným účinkům zatížení působící na tuhou rámovou vazbu,
- Veškerému zatížení působícímu na ztužující systém, a
- Vlivu imperfekcí tuhé rámové vazby.

Pro účely návrhu a v souladu s článkem 7.3 normy EN 1993-1-1 se tyto imperfekce nahrazují ekvivalentními vodorovnými silami.

U vertikálně umístěných ztužidel je třeba kombinovat všechny tři kritéria. Ekvivalentní vodorovné síly je třeba uvažovat pro všechny kombinace zatížení v rámci MSÚ, protože jejich účelem je reprezentovat počáteční globální imperfekci (patrový posun), která při působení zatížení vede k dodatečným deformacím. Tyto ekvivalentní síly by měly být stanoveny pro každou kombinaci zatížení zvlášť, protože závisí na velikosti návrhových vertikálních zatížení.

Příčné ztužení tlačných pásnic nosníků se má navrhout podle bodu 7.3.5 normy EN 1993. Imperfekce se uvažují jednou z následujících metod: buď zahrnutím počáteční lokální imperfekce prutů (prohnutí prutu), které mají být podepřeny, a posouzením na dodatečné momenty, nebo použitím ekvivalentní síly. V místech, kde jsou nosníky, nebo pruty namáhané tlakem spojeny, musí ztužující prvky odolat dodatečné lokální síle v místě spoje, viz bod 7.3.5.2(2).

Norma EN 1993 neobsahuje žádné zvláštní pokyny pro navrhování dočasných nebo montážních ztužidel, které zajišťují bezpečnou výstavbu konstrukce. Závisí na harmonogramu výstavby a měly by být umístěny tak, aby se snížily kumulativní toleranční chyby.

6.3.5 Návrh dalších nosných prvků

Sekundární ocelová konstrukce je obvykle složena ze za studena tvarovaných vaznic, které jsou pnuty mezi střešními nosníky (příčlemi), a paždíků, které jsou pnuty mezi sloupy. Tyto prvky podpírají opláštění a jsou navrženy na účinky zatížení větrem a v případě střechy ještě navíc sněhem. Vaznice a paždíky se také často používají jako ztužení tlačných částí průřezu příčlí a sloupů a k přenosu horizontálních zatížení do ztužidel.

Kapitola 11 normy EN 1993-1-3 obsahuje pokyny pro navrhování vaznic a paždíků. Vzhledem k tomu, že tyto prvky jsou obvykle chráněny patentem, výrobci vyvinuli a otestovali vhodné profily a poskytují konstrukční údaje ve formě konstrukčních tabulek nebo softwaru.

6.4 Vliv seizmických účinků

Návrh jednopodlažních budov na seizmické účinky obvykle nevyžaduje další konstrukční opatření, viz kap. 6 normy prEN1998-2 [85]. Jednopodlažní budovy se obvykle považují za budovy s nízkou třídou duktility (DC1), což znamená, že požadavky na návrh podle normy EN1993-1-1 dostačují. Kompromisem v této praxi je, že při posuzování návrhových seizmických účinků je třeba uvažovat menší součinitel duktility. Protože jednopodlažní budovy mají malou hmotnost, zatížení seismicitou nebývá rozhodující. Pokud se při návrhu vychází z koncepce DC1, není třeba se obávat opětovného použití prvků pro konstrukce vystavené seizmickým účinkům, ale při návrhu opětovně použité konstrukce se doporučuje použít součinitel chování $q = 1$.

Doporučení uvedená v této příručce mohou být upravena pro jiné konstrukce, například vícepodlažní budovy, pro které mají seizmické účinky jiný význam (přítomnost větších hmot, výška budovy, disipativní zóny). Konstrukce navržené v souladu s koncepcí disipativního chování konstrukce mají být zařazeny do třídy duktility konstrukce DC2 nebo DC3. Tyto třídy odpovídají zvýšené schopnosti konstrukce uvolňovat energii plastickými mechanismy. V závislosti na třídě duktility musí být splněny specifické požadavky na třídu průřezů a rotační kapacitu styčnic. Pro takové případy se doporučuje povolit opětovné použití ocelových prvků pouze tehdy, pokud jsou tyto prvky použity alespoň za jedné z následujících podmínek: (i) jako prvky sloupů nebo sekundárních nosných systémů (které

nejsou součástí příčného ztužení, jako jsou například horizontální nosníky s kloubovými spoji), nebo (ii) jako prvky, které jsou součástí konstrukce spadající do DC1.

Postupy posuzování a zkoušení navržené v příloze A jsou v souladu s požadavky navrženými v normě EN1998-3 [86] pro stávající budovy. V případech, kdy se provádí posouzení stávající konstrukce a je požadováno disipativní chování (střední nebo vysoká třída tažnosti), by se doporučené zkušební postupy měly řídit doporučeními pro konstrukci CC3 podle přílohy A. Další pokyny lze nalézt v referencích [87] až [89].

6.5 Mezní stav použitelnosti

6.5.1 Deformace

Kritéria mezního stavu použitelnosti (průhyby, posuny, vibrace) jsou uvedeny v příloze A normy EN1990:2023 [9]. a lze je použít pro navrhování konstrukcí s opětovným použitím ocelových prutů. Požadavky na použitelnost by měly být specifikovány individuálně pro každý projekt. Další ustanovení týkající se kritérií použitelnosti jsou uvedena v ostatních Eurokódech. Další limitní hodnoty by měly odpovídat specifikaci příslušného orgánu, nebo pokud nejsou specifikovány, mohou být pro konkrétní projekt dohodnuty mezi příslušnými stranami. Pro stanovení průhybů rámu v mezním stavu použitelnosti se používá pružná analýza.

V následujícím textu jsou popsány některé další podmínky, které mohou ovlivnit kritéria použitelnosti.

Obvodový plášť

Je třeba omezit průhyb mezi sousedními rámovými vazbami, aby nedošlo k přetížení kotvení pláště k podpůrné konstrukci, což by vedlo k jejich otlacení a případně převlečení. Například u jednopodlažních budov se plechy obvodového pláště prohýbají výrazně méně než samotná rámová konstrukce. To je způsobeno tím, že plášť působí jako membrána, která má značný ztužující účinek. Skutečný průhyb závisí na rozměrech budovy a typu opláštění, ale po dokončení stavby se obvykle naměří snížení horizontálních deformací o více než 50 % (oproti deformacím vypočteným pro samotný rám).

Štítový rám

Štítový rám s plechem a/nebo ztužidly má ve své rovině značnou tuhost. Rozdíl mezi vypočtenými deformacemi štítového rámu a sousedním rámem mohou být velmi vysoké. Tento rozdíl v deformaci bude vždy jiný v důsledku působení, střešního pláště a střešních ztužidel, případně podlah vestavby.

Vyzdívký

Pokud jsou boční stěny z cihel nebo tvárnic postaveny tak, že jsou podepřeny ocelovým rámem, měly by být detailně řešeny tak, aby se mohly deformovat spolu s rámem, a to pomocí stlačitelné izolační vrstvy proti vlhkosti v patě stěny. V případě potřeby má být v horní části zděné stěny a případně v mezilehlých bodech zajištěno ztužení. Pokud zdivo lemuje ocelový sloup po jeho výšce a tvoří tuhé pilíře, není vhodné uvažovat, že se stěny

budou deformovat spolu s rámem. V takovém případě by se na rám měly vztahovat přísnější limity deformací.

Zadržování vody

U šikmých střech s nízkým sklonem a u plochých střech je třeba vzít v úvahu také možnost zadržování vody na střeše. Minimální doporučený sklon střechy je 3° po zohlednění svislé deformace. Doporučený standardní sklon je 6° k horizontální rovině, u něhož lze zanedbat zadržování vody. Příhradové nosníky mají obvykle sklon 3° od horizontální roviny, ale protože jsou mnohem tužší než konstrukce s profily válcovanými za tepla/svařovanými profily, nepředpokládá se vzniku zadržování vody.

Portálové rámy nesoucí jeřábové nosníky

Pokud jsou jeřábové nosníky podepřeny přímo portálovými rámy, je pravděpodobné, že kvůli přísnějším limitním deformacím v úrovni jeřábu bude nutné použití tužších profilů rámu. Deformace a posuny by měly být stanoveny po dohodě se zadavatelem a výrobcem jeřábu. U takovýchto konstrukcí se často používají vetknuté základové patky kvůli snížení horizontálních deformací. Při návrhu by se mělo postupovat podle doporučení normy EN 1993-6 [90].

LITERATURA

- [1] Kibert CJ (2013). Sustainable construction: green building design and delivery: green building design and Delivery. John Wiley & Sons.
- [2] CEN – European Committee for Standardisation (2024). CEN/TS 1090-201: Execution of steel structures and aluminium structures - Reuse of structural steel, Brussels, Belgium.
- [3] Densley Tingley D, Allwood J (2014). Reuse of structural steel: the opportunities and challenges. In: European Steel Environment & Energy Congress 2014, 15-17 September, Teeside University, UK.
- [4] Chen H-M, Wang Y, Zhou K, Lam D, Guo W, Li L, Ajayebi A, Hopkinson P (2022). Reclaiming structural steels from the end of service life composite structures for reuse - An assessment of the viability of different methods. Developments in the Built Environment 10, 100077.
- [5] Yrjölä J. (2022). New white paper: Dismount and reuse of precast concrete structures, Peikko Group. Retrieved from: <https://www.peikko.com/blog/new-white-paper-dismount-and-reuse-of-precast-concrete-structures/>.
- [6] ReCreate Project. (2023). Reusing concrete building components - A practical example. [Video]. YouTube. https://www.youtube.com/watch?v=EzppFH_Fg4w.
- [7] CEN – European Committee for Standardisation (2009). EN 1090-1: Execution of steel structures and aluminium structures, Part 1: Requirements for conformity assessment of structural components (incorporating CEN amendment A1:2012), Brussels, Belgium.
- [8] CEN – European Committee for Standardisation (2018). EN 1090-2: Execution of steel structures and aluminium structures, Part 2: Technical requirements for steel structures (incorporating CEN amendment A1:2024), Brussels, Belgium.
- [9] CEN – European Committee for Standardisation (2023). EN 1990: Eurocode: Basis of structural and geotechnical design, Brussels, Belgium.
- [10] CEN – European Committee for Standardisation (2002). EN 1991-1-1: Eurocode 1: Actions on structures, Part 1-1: General actions – Densities, self-weight, imposed loads for buildings (incorporating CEN corrigenda Dec. 2004 and Mar. 2009), Brussels, Belgium.
- [11] CEN – European Committee for Standardisation (2002). EN 1991-1-3: Eurocode 1: Actions on structures, Part 1-3: General actions – snow loads (incorporating CEN corrigenda Dec. 2004 and Jun. 2009, and CEN amendment A1:2015), Brussels, Belgium.
- [12] CEN – European Committee for Standardisation (2002). EN 1991-1-4: Eurocode 1: Actions on structures, Part 1-4: General actions – wind actions (incorporating CEN amendment A1:2010), Brussels, Belgium.
- [13] CEN – European Committee for Standardisation (2003). EN 1991-1-5: Eurocode 1. Actions on structures, Part 1-5: General actions - Thermal actions, Brussels, Belgium.

- [14] CEN – European Committee for Standardisation (2005). EN 1991-1-6: Eurocode 1. Actions on structures, Part 1-6: General actions - Actions during execution, Brussels, Belgium.
- [15] CEN – European Committee for Standardisation (2022). EN 1993-1-1: Eurocode 3: Design of steel structures, Part 1-1: General rules and rules for buildings, Brussels, Belgium.
- [16] CEN – European Committee for Standardisation (2024). EN 1993-1-3: Eurocode 3: Design of steel structures, Part 1-3: General rules – supplementary rules for cold-formed members and sheeting, Brussels, Belgium.
- [17] CEN – European Committee for Standardisation (2024). EN 1993-1-8: Eurocode 3: Design of steel structures, Part 1-8: Design of joints, Brussels, Belgium.
- [18] CEN – European Committee for Standardisation (2005). EN 1993-1-10: Eurocode 3: Design of steel structures, Part 1-10: Material toughness and through-thickness properties (incorporating CEN corrigenda Dec. 2005, Sep. 2006 and Mar. 2009), Brussels, Belgium.
- [19] CEN – European Committee for Standardisation (2004). EN 1994-1-1: Eurocode 4: Design of composite steel and concrete structures - General rules and rules for buildings, Brussels, Belgium.
- [20] CEN – European Committee for Standardisation (2004). EN 10025-1: Hot rolled products of structural steels, Part 1: General technical delivery conditions, Brussels, Belgium.
- [21] CEN – European Committee for Standardisation (2019). EN 10025-2: Hot rolled products of structural steels, Part 2: Technical delivery conditions for non-alloy structural steels, Brussels, Belgium.
- [22] CEN – European Committee for Standardisation (2019). EN 10025-4: Hot rolled products of structural steels, Part 4: Technical delivery conditions for thermomechanical rolled weldable fine grain structural steels (incorporating CEN amendment A1:2022), Brussels, Belgium.
- [23] CEN – European Committee for Standardisation (2004). EN 10025-5: Hot rolled products of structural steels, Part 5: Technical delivery conditions for structural steels with improved atmospheric corrosion resistance, Brussels, Belgium.
- [24] CEN – European Committee for Standardisation (2010). EN 10029: Hot rolled steel plates 3 mm thick or above, Tolerances on dimensions and shape, Brussels, Belgium.
- [25] CEN – European Committee for Standardisation (1993). EN 10034: Structural steel I and H sections – Tolerances on shape and dimensions, Brussels, Belgium.
- [26] CEN – European Committee for Standardisation (2024). EN 10051: Continuously hot-rolled strip and plate/sheet cut from wide strip of non-alloy and alloy steels – Tolerances on shape and dimensions, Brussels, Belgium.
- [27] CEN – European Committee for Standardisation (1998). EN 10055: Hot rolled steel equal flange tees with radiused root and toes – Dimensions and tolerances on shape and dimensions, Brussels, Belgium.
- [28] CEN – European Committee for Standardisation (2017). EN 10056-1: Structural steel equal and unequal leg angles, Part 1: Dimensions, Brussels, Belgium.

- [29] CEN – European Committee for Standardisation (1993). EN 10056-2: Structural steel equal and unequal leg angles, Part 2: Tolerances on shape and dimensions, Brussels, Belgium.
- [30] CEN – European Committee for Standardisation (2004). EN 10204: Metallic products – Types of inspection documents, Brussels, Belgium.
- [31] CEN – European Committee for Standardisation (2006). EN 10210-1: Hot finished structural hollow sections of non-alloy and fine grain steels, Part 1: Technical delivery requirements, Brussels, Belgium.
- [32] CEN – European Committee for Standardisation (2019). EN 10210-2: Hot finished structural hollow sections of non-alloy and fine grain steels, Part 2: Tolerances, dimensions and sectional properties, Brussels, Belgium.
- [33] CEN – European Committee for Standardisation (2006). EN 10219-1: Cold formed welded structural hollow sections of non-alloy and fine grain steels, Part 1: Technical delivery requirements, Brussels, Belgium.
- [34] CEN – European Committee for Standardisation (2019). EN 10219-2: Cold formed welded structural hollow sections of non-alloy and fine grain steels, Part 2: Tolerances, dimensions and sectional properties, Brussels, Belgium.
- [35] CEN – European Committee for Standardisation (2000). EN 10279: Hot rolled steel channels – Tolerances on shape, dimension and mass, Brussels, Belgium.
- [36] CEN – European Committee for Standardisation (2015). EN 10346: Continuously hot-dip coated steel flat products for cold forming – Technical delivery conditions, Brussels, Belgium.
- [37] CEN – European Committee for Standardisation (2022). EN 10169: Continuously organic coated (coil coated) steel flat products - Technical delivery conditions, Brussels, Belgium.
- [38] CEN – European Committee for Standardisation (2017). EN 10365 Hot rolled steel channels, I and H sections – Dimension and masses, Brussels, Belgium.
- [39] CEN – European Committee for Standardisation. EN 14399: High-strength structural bolting assemblies for preloading (all parts), Brussels, Belgium.
- [40] CEN – European Committee for Standardisation (2013). EN 14509: Self-supporting double skin metal faced insulating panels, Factory made products, Specifications, Brussels, Belgium.
- [41] Steel buildings in Europe: Design guides for single-storey and multi-storey steel buildings. https://constructalia.arcelormittal.com/en/news_center/articles/design_guides_steel_buildings_in_europe.
- [42] Kamrath, P., Sansom, M., Ungureanu, V., & Hradil, P. (2020). Deliverable D2.1a: Safe and efficient deconstruction; Deliverable D2.1a: Deconstruction protocol for single-storey steel framed buildings. European Convention for Constructional Steelwork. <https://www.steelconstruct.com/wp-content/uploads/PROGRESS-D2.1-Auditing-and-deconstruction-process.pdf>.
- [43] Single storey industrial buildings. https://steelconstruction.info/Single_storey_industrial_buildings.
- [44] Multi-storey office buildings. https://steelconstruction.info/Multi-storey_office_buildings.

- [45] CEN – European Committee for Standardisation (2019). EN 15804: Sustainability of construction works – Environmental product declarations – Core rules for the product category of construction products (incorporating CEN amendment A2:2019), Brussels, Belgium.
- [46] CEN – European Committee for Standardisation (2011). EN 15978: Sustainability of construction works. Assessment of environmental performance of buildings. Calculation method, Brussels, Belgium.
- [47] CEN – European Committee for Standardisation (2015). EN 16627: Sustainability of construction works. Assessment of environmental performance of buildings. Calculation method, Brussels, Belgium.
- [48] CEN – European Committee for Standardisation (1992). ENV 1993-1-1: Eurocode 3: Design of steel structures, Part 1-1: General rules and rules for buildings, Brussels, Belgium.
- [49] European Union (2011). Regulation (EC) No 3058/2011 of the European Parliament and of the Council of 9 March 2011 laying down harmonised conditions for the marketing of construction products and repealing Council Directive 89/106/EEC/EC. Available at: <http://data.europa.eu/eli/reg/2011/305/oj>.
- [50] European Commission: Directorate-General for Internal Market, Industry, Entrepreneurship and SMEs, Oberender, A., Fruergaard Astrup, T., Frydkjær Witte, S., Camboni, M., Chiabrande, F., Hayleck, M., & Akelyté, R. (2024). EU construction & demolition waste management protocol including guidelines for pre-demolition and pre-renovation audits of construction works: updated edition 2024, Publications Office of the European Union. <https://data.europa.eu/doi/10.2873/77980>.
- [51] ECCS P49 (1987). European recommendations for design of light gauge steel members, Publication P049, European Convention for Constructional Steelwork, Brussels, Belgium.
- [52] CEN – European Committee for Standardisation (1996). ENV1993-1-3: Eurocode 3: Design of Steel Structures Part 1.3. General Rules. Supplementary rules for cold-formed thin gauge members and sheeting. (including the Corrigenda to ENV1993-1-3 of 1997-02-25). European Committee for Standardization, Brussels, Belgium.
- [53] Feldmann M et al. (2024). Guidance on Establishing European Rules for the Design of reclaimed Steel Components for Reuse (4th draft), CEN-TC 250-SC 3-AHG Reuse.
- [54] Girao Coelho AM, Pimentel R, Ungureanu V, Hradil P, Kesti J (2020). European Recommendations for Reuse of Steel Products in Single-Storey Buildings, 1st Edition, <https://www.steelconstruct.com/>.
- [55] CEN – European Committee for Standardisation (2017). CEN ISO/TR 15608: Welding - Guidelines for a metallic materials grouping system, Brussels, Belgium.
- [56] BSI – British Standards Institution. BS 15:1948. Structural steel, UK.
- [57] BSI – British Standards Institution. BS 4360-2:1969. Specification for weldable structural steels metric units, UK.
- [58] SIA 269/3:2011. Existing structures – Steel structures, SIA Zurich.
- [59] Brown D. G. and Iles, D. C. Selection of steel sub-grade in accordance with the Eurocodes. SCI Document ED007. SCI, 2012.

- [60] PD 6695-1-10:2009. Recommendations for the design of structures to BS EN 1993-1-10. BSI, 2009.
- [61] P419 – Brittle fracture: selection of steel sub-grade to BS EN 1993-1-10; ISBN 1-85942-135-0, 2017. The Steel Construction Institute.
- [62] Sedlacek, G. et al. Commentary and worked examples to BS EN 1993-1-10 “Material toughness and through thickness properties” and other toughness-oriented rules in BS EN 1993. European Commission Joint Research Centre, 2008.
- [63] Davison B, Owens GW (eds.) (2012). Steel designers’ manual. The Steel Construction Institute, 7th edition, Wiley-Blackwell, UK.
- [64] CEN – European Committee for Standardisation (2007). EN ISO 8501-1: Preparation of steel substrates before application of paints and related products – Visual assessment of surface cleanliness, Part 1: Rust grades and preparation grades of uncoated steel substrates and of steel substrates after overall removal of previous coatings, Brussels, Belgium.
- [65] BS 4 Part 1;1962. Specification for structural steel section; Part 1: Hot Rolled sections.
- [66] Dorman Long & CO Ltd (1964). Handbook for constructional engineers, Fanfare Press Ltd, London, UK.
- [67] The British Constructional Steelwork Association (1994). National structural steelwork specification for building construction, 3th Edition, 203, London, UK.
- [68] STAS 767/0-88 (1988). Steel Structures. General technical requirements for quality of non-industrial, industrial and agricultural buildings. Romanian Institute for Standardization.
- [69] CEN – European Committee for Standardisation (2016). EN ISO 17637: Non-destructive testing of welds – Visual testing of fusion-welded joints, Brussels, Belgium.
- [70] CEN – European Committee for Standardization (2020). EN ISO 7438: Metallic materials – Bend test, Brussels, Belgium.
- [71] CEN – European Committee for Standardisation (2018). EN 1090-4: Execution of steel structures and aluminium structures, Part 4: Technical requirements for cold-formed structural steel elements and cold-formed structures for roof, ceiling, floor and wall applications, Brussels, Belgium.
- [72] CEN – European Committee for Standardisation (2003). EN 10162: Cold rolled steel sections – Technical delivery conditions – Dimensional and cross-sectional tolerances, Brussels, Belgium.
- [73] CEN – European Committee for Standardisation (2006). EN 10143: Continuously hot-dip coated steel sheet and strip – Tolerances on dimensions and shape, Brussels, Belgium.
- [74] CEN – European Committee for Standardisation (2013). EN 14509: Self-supporting double skin metal faced insulating panels. Factory made products. Specifications, Brussels, Belgium.
- [75] CEN – European Committee for Standardisation (2006). EN 14782: Self-supporting metal sheet for roofing, external cladding and internal lining. Product specification and requirements, Brussels, Belgium.

- [76] International Standard (2010). ISO 13822: Bases for design of structures – Assessment of existing structures, Geneva, Switzerland.
- [77] Gulvanessian H, Calgar JA, Holický M (2012). Designer's guide to Eurocode: basis of structural design EN 1990, ICE Publishing, Thomas Telford, London (2nd edition).
- [78] Steenbergen RDJM, Vrouwenvelder ACWM (2010). Safety philosophy for existing structures and partial factors for traffic loads on bridges, *Heron* 55(2), 123-140.
- [79] Matthews S (2012). Structural appraisal of existing buildings, including for a material change of use, Part 3: Structural appraisal procedures, BRE-DG 366, Building Research Establishment, UK.
- [80] Sedlacek G, Spangemacher R, Hensen W, ARBED Research (1989). Background Documentation for EC3, Doc. 5.01, Background document for the justification of safety factor $\gamma_M = 1.0$ for rolled beams in bending about the strong axis. Commission of the European Communities.
- [81] Sedlacek G, Ungermann D, Kuck J, Maquoi R, Janss J (1989). Background Document for EC3, Doc. 5.03, Evaluation of test results on beams with cross-sectional classes 1-3 in order to obtain strength functions and suitable model factors. Commission of the European Communities.
- [82] Charbrolin B, CTICM, Labein, ProfilARBED, RWTH, SCI, TNO, SAES (2002). Partial safety factors for resistance of steel elements to EC3 and EC4. Calibration for various steels products and failure criteria. Final report. Technical steel research series, European Communities, EUR 20344 EN.
- [83] SCI P358, Joints in steel construction: Simple joints to Eurocode 3, 2014. The Steel Construction Institute.
- [84] SCI P398 Joints in steel construction: Moment-resisting joints to Eurocode 3. The Steel Construction Institute.
- [85] CEN – European Committee for Standardisation (2023). prEN 1998-1-2: Eurocode 8 – Design of structures for earthquake resistance - Part 1-2: Buildings, Brussels, Belgium.
- [86] CEN – European Committee for Standardisation (2005). EN 1998-3: Eurocode 8. Design of structures for earthquake resistance. Assessment and retrofitting of buildings, Brussels, Belgium.
- [87] AISC – American Institute of Steel Construction (2022). ANSI/AISC 342:2022: Seismic Provisions for Evaluation and Retrofit of Existing Structural Steel Buildings, Chicago, IL, USA.
- [88] ASCE – American Society of Civil Engineers (2017). ASCE/SEI 41-17: Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings, Reston, Virginia, USA.
- [89] FEMA P-2208:2023: NEHRP Recommended Revisions to ASCE/SEI 41-17, Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings, USA.
- [90] CEN – European Committee for Standardisation (2007). EN 1993-6:2007 Eurocode 3. Design of steel structures. Crane supporting structures, Brussels, Belgium.
- [91] CEN – European Committee for Standardisation (2016). EN 13018: Non-destructive testing, Visual testing, General principles, Brussels, Belgium.

- [92] CEN – European Committee for Standardisation (2011). EN ISO 13385-1: Geometrical product specifications (GPS), Dimensional measuring equipment, Part 1: Callipers; Design and metrological characteristics (incorporating corrigendum Oct. 2015), Brussels, Belgium.
- [93] CEN – European Committee for Standardisation (2011). EN ISO 13385-2: Geometrical product specifications (GPS), Dimensional measuring equipment, Part 2: Calliper depth gauges; Design and metrological characteristics (incorporating corrigendum Oct. 2015), Brussels, Belgium.
- [94] CEN – European Committee for Standardisation (2013). EN ISO 3452-1: Non-destructive testing, Penetrant testing, Part 1: General principles (incorporating corrigendum Jun. 2014), Brussels, Belgium.
- [95] CEN – European Committee for Standardisation (2010). EN ISO 15549: Non-destructive testing – Eddy current testing – General principles, Brussels, Belgium.
- [96] CEN – European Committee for Standardisation (2015). EN ISO 17643: Non-destructive testing of welds – Eddy current examination of welds by complex plane analysis, Brussels, Belgium.
- [97] CEN – European Committee for Standardisation (2014). EN ISO 16810: Non-destructive testing, Ultrasonic testing, General principles, Brussels, Belgium.
- [98] CEN – European Committee for Standardisation (2018). EN ISO 17640: Non-destructive testing of welds, Ultrasonic testing, Techniques, testing levels, and assessment, Brussels, Belgium.
- [99] CEN – European Committee for Standardisation (2016). EN ISO 17638: Non-destructive testing of welds. Magnetic particle testing, Brussels, Belgium.
- [100] CEN – European Committee for Standardisation (2015). EN ISO 23277: Non-destructive testing of welds, Penetrant testing, Acceptance levels, Brussels, Belgium.
- [101] CEN – European Committee for Standardisation. EN ISO 17636: Non-destructive testing of welds. Radiographic testing. X- and gamma-ray techniques (all parts), Brussels, Belgium.
- [102] FEMA 352:2000. Recommended Post earthquake Evaluation and Repair Criteria for Welded. Steel Moment-Frame Buildings; Federal Emergency Management Agency USA.
- [103] CEN – European Committee for Standardisation. EN ISO 6507: Metallic materials. Vickers hardness test (all parts), Brussels, Belgium.
- [104] CEN – European Committee for Standardisation. EN ISO 6508: Metallic materials. Rockwell hardness test (all parts), Brussels, Belgium.
- [105] CEN – European Committee for Standardisation – EN ISO 6505: Metallic materials. Brinell hardness test (all parts), Brussels, Belgium.
- [106] ASTM – American Society for Testing and Materials (2017). A1038: Standard test method for portable hardness testing by the ultrasonic contact impedance method. West Conshohocken, Pennsylvania, United States.
- [107] ISO 19272:2015; Low alloyed steel – Determination of C, Si, Mn, P, S, Cr, Ni, Al, Ti and Cu – Glow discharge optical emission spectrometry (routine method), 2015.

- [108] ASTM – American Society for Testing and Materials (2013). E572: Standard test method for analysis of stainless and alloy steels by wavelength dispersive X-ray fluorescence spectrometry. West Conshohocken, Pennsylvania, United States.
- [109] ASTM – American Society for Testing and Materials (2014). E1476: Standard guide for metals identification, grade verification, and sorting, West Conshohocken, Pennsylvania, United States.
- [110] ISO 145775 (all parts). Metallic materials – Instrumented indentation test for hardness and materials parameters.
- [111] CEN – European Committee for Standardisation (2007). CEN Workshop Agreement CWA 15627: Small punch test method for metallic materials, Brussels, Belgium.
- [112] CEN – European Committee for Standardisation (2017). prEN 15627: Metallic materials - Small punch test method, working document, ECISS/TC 1010/WG 1 committee.
- [113] CEN – European Committee for Standardisation (2020). EN ISO 6892-1: Metallic materials – Tensile testing, Part 1: Method of test at room temperature, Brussels, Belgium.
- [114] CEN – European Committee for Standardisation (2002). EN ISO 14284: Steel and iron – sampling and preparation of samples for the determination of chemical composition (incorporating corrigendum Dec. 2002), Brussels, Belgium.
- [115] CEN – European Committee for Standardisation (2016). EN ISO 148-1: Metallic materials – Charpy pendulum impact test, Part 1: Test method, Brussels, Belgium.
- [116] ASTM – American Society for Testing and Materials (2013). E112 Standard test methods for determining average grain size. West Conshohocken, Pennsylvania, United States.
- [117] SCI P427 – Structural Steel Reuse: assessment, testing and design principles, The Steel Construction Institute, 2019.
- [118] Simões da Silva L, Marques L, Tankova T, Rebelo C, Kuhlmann U, Kleiner A, Spiegler J, Snider HH, Dekker RWA, Dehan V, Taras A, Haremza C, Cajot LG, Vassart O, Popa N (2017). Standardisation of safety assessment procedures across brittle to ductile failure modes (SAFEBRITILE). Research Fund for Coal and Steel (RFCS), Final report EUR 28906, European Commission, Brussels, Belgium.
- [119] Fujita M, Kuki K (2016). An evaluation of mechanical properties with the hardness of building steel structural members for reuse by NDT, *Metals* 6, 247, doi: 10.3390/met6100247.
- [120] CEN – European Committee for Standardisation (2013). EN ISO 18265: Metallic materials – Conversion of hardness materials, Brussels, Belgium.
- [121] CEN – European Committee for Standardisation (20174). EN ISO 377: Steel and steel products. Location and preparation of samples and test pieces for mechanical testing, Brussels, Belgium.
- [122] CEN – European Committee for Standardisation (2017). EN 13523-1: Coil coated metals. Test methods. Film thickness, Brussels, Belgium.
- [123] CEN – European Committee for Standardisation (2002). EN 13523-6: Coil coated metals. Test methods. Adhesion after indentation, Brussels, Belgium.

[124] CEN – European Committee for Standardisation (2014). EN 13523-7: Coil coated metals. Test methods. Resistance to cracking on bending (T-bend test), Brussels, Belgium.

[125] Holický M (2009). Reliability analysis for structural design. Sun Press.

Příloha A

Hodnocení, měření, odběr vzorků a zkoušení

A.1 Obecně

Pro vyhodnocení možnosti opětovného použití je nezbytná kvantifikace vlastností materiálu a posouzení stavu stávající konstrukce nebo konstrukčních prvků. Zkušební programy budou zahrnovat řadu zkoušek a měly by být provedeny pečlivě. Je třeba dosáhnout rovnováhy mezi získáním dostatečných informací pro přiměřené posouzení rizika a tím, zda invazivní odběr vzorků nepoškodí samotnou konstrukci. Jsou doporučeny následující kroky:

- Zkoušky mohou být účinné a lze je interpretovat v kombinaci, např. reprezentativní vzorek míst vykazujících určitou charakteristiku lze detailněji prozkoumat pomocí řady podrobnějších zkoušek,
- Pokud je to možné, mají být preferovány nedestruktivní typy zkoušek (NDT),
- V případě destruktivních zkoušek (DT) má být místo vrtání nebo řezání pečlivě vybráno, specifikováno a odebrání vzorku/zkouška má být provedeno pod dohledem, aby se zabránilo možnému poškození konstrukce,
- V případě, že se předpokládá svařování, je třeba stanovit chemické složení, aby bylo možné vypracovat specifikaci svařovacího postupu. Vhodnost základního kovu pro svařování musí být prokázána hodnotou ekvivalentu uhlíku (CEV).

A.2 Posouzení stavu a způsob měření

A.2.1 Obecně

Posouzení stávající ocelové konstrukce je popsáno ve svazku 3. Vývojový diagram na obrázku 5.1 znázorňuje celkový rámec pro opětovné použití stávajících ocelových konstrukčních prvků. Byla rovněž zdůrazněna nutnost posoudit výrobní procesy stávajících ocelových konstrukcí (především svary), aby bylo zajištěno, že tyto procesy jsou v souladu s požadavky na kvalitu podle normy EN1090. Následující kapitola obsahuje další pokyny pro hodnocení stávajících ocelových konstrukcí a pro kontrolu svarů.

A.2.2 Způsob kontroly

Způsoby kontroly relevantní pro tento projekt jsou shrnuty v tabulce A.1. Tyto velmi jednoduché techniky pomohou určit celkový stav konstrukce a definovat vhodný postup odběru vzorků a způsob provedení zkoušek. V praxi se kombinují s podrobným měřením. Lze shromáždit následující informace:

- Stáří konstrukce a případné úpravy nebo opravy,
- Materiály, ze kterých je konstrukce vyrobena,
- Geometrie a konstrukční uspořádání budovy, dimenze prutů a detaily spojů.

V případě, že je znovu použita celá primární konstrukce, zahrnuje prohlídka budovy další podrobnosti. Měly by být změřeny dimenze komponent v kritických místech. Měly by být zaznamenány dimenze spojů a spojovacích prvků, včetně rozměrů svarů (je třeba provést kontrolu všech svarů). Jelikož je vzpěrná únosnost ovlivněna geometrickými imperfekcemi, má být provedeno podrobné měření odchylek podle normy EN 1090-2.

Tabulka A.1 Způsob kontroly

Metoda	Popis	Komentář
Vizuální kontrola	Zkoumání koroze, prasklin, deformací, poškození atd.	Zásadní. Obecné posouzení fyzického stavu konstrukce. Neodhalí jemné nebo podpovrchové trhliny. Obecná ustanovení jsou uvedena v EN 13018 [91].
Terénní průzkum	Geometrický průzkum polohy a velikosti prutů a detailů.	Zásadní při absenci výkresů a pro (i) kontrolu úprav a oprav, (ii) určení rozměrů průřezu, přímosti, svislosti, deformace a průhybu prutů.
Kontrola dimenzí (rozměrů)	Měření pomocí Vernierova měřítka, mikrometrů, trojrozměrného laserového skenování, ultrazvukových měření atd.	Zásadní v případě, že chybí původní konstrukční výkresy. Sběr geometrických údajů, velikost prutů. Měřicí zařízení a nástroje viz např. normy EN ISO 13385-1 [92] a EN ISO 13385-2 [93].

A.2.3 Nedestruktivní zkouška svarů

Nedestruktivní zkoušení se obvykle provádí pomocí zařízení umístěného v blízkosti povrchu konstrukce (proti němu nebo k němu připevněného) a má hlavní výhody: nepoškozuje konstrukci a také eliminuje potřebu časově náročného náhodného odběru vzorků a následného laboratorního zkoušení. V tabulce A.2 jsou uvedeny některé techniky, které lze během této fáze průzkumu použít. Techniky NDT mohou být užitečné pro lokalizaci a/nebo měření velikosti vad.

Tabulka A.2 Možnosti nedestruktivního zkoušení svarů.

Metoda	Popis	Komentář
Vizuální kontrola	Zahrnuje vizuální kontrolu tavných svarů kovových materiálů. Zkouška se obvykle provádí na svarech ve stavu po svaření, ale výjimečně může být provedena i v jiných fázích svařovacího procesu.	Zajišťuje minimální kontrolu kvality každého svarového spoje. EN ISO 17637 [69].
Penetrační zkoušky	Barvivo zvýrazňuje trhliny na povrchu.	Označuje povrchové trhliny v prutech, které jinak nejsou viditelné pouhým okem, přibližně 25 μ m. Povrchové vady lze přesně detekovat. EN ISO 3452-1 [94] uvádí obecné zásady této metody. Pro svary je uvádí norma EN ISO 23277 [100].
Kontrola svařování vířivými proudy	Metoda vířivých proudů se používá k lokalizaci a charakterizaci nespojitostí v magnetických nebo nemagnetických elektricky vodivých	Zásadní pro detekci povrchových a podpovrchových trhlin. Použitelné pouze pro jednoduché geometrie. Nedetekuje podpovrchové vady. Obecné zásady jsou

	materiálech nedestruktivním způsobem.	vedeny v normě EN ISO 15549 [95] a pro svary EN ISO 17643 [96].
Ultrazvukové testování	Snímač převádí elektrickou energii na ultravysokofrekvenční zvukové vlny, které se odrážejí od defektů, které zaznamenává.	Vhodné pro detekci vnitřních plošných defektů, včetně trhlin, nedostatečného spojení svarů, lamelárního porušení, vodíkových trhlin. Obecná ustanovení pro tuto techniku lze nalézt v normě EN ISO 16810 [97]. Pro svary EN ISO 17640 [98].
Testování magnetickými částicemi	Testování magnetickými částicemi využívá magnetizaci průřezů v elektricky vodivých materiálech. Pro vizualizaci magnetického pole se používá suspenze obvykle s fluorescenčními ocelovými úlomky.	Tuto kontrolní metodu lze použít pouze pro detekci povrchových trhlin ve feromagnetických materiálech. Trhliny v nemagnetických materiálech nebo ve vrstvených prvcích nelze detekovat. Metodu lze použít jako kontrolu kvality přesného nastavení vrtných otvorů pro zastavení aktivních únavových trhlin. Jako referenci lze uvést normu EN 17638 [99].
Radiografické zkoušení	Radiografická zkouška (rentgenové záření, γ záření, např. s iridiovým zdrojem) se používá k odhalování trhlin a vad v prvcích z více vrstev materiálu. Radiografický zdroj je umístěn na jedné straně zabudovaného prvku, radiosenzitivní film a detektor nebo digitální paměťová jednotka na druhé straně vyšetřovaného průřezu.	Radiografická metoda (metoda γ -zářením) je jedinou metodou s ověřenou proveditelností při laboratorních zkouškách a na místě pro detekci vnitřních poruch nebo trhlin uprostřed vícevrstvých prvků. Jako referenci lze uvést normu EN ISO 17636 [101].

A.2.4 Protokol o kontrole svarů

Svarové spoje svařovaných průřezů (včetně komorových nosníků) se mají kontrolovat. Stejný rozsah zkoušek svarů, který vyžaduje norma EN 1090-2 (viz tabulka 24), by se měl použít i na opětovně použité ocelové prvky. Vizuální kontrola 100 % svarů je povinná. V tabulce A.3 je uveden minimální počet svarových spojů, které je třeba zkontrolovat nedestruktivními zkouškami. Spoj může mít různé segmenty svaru. U typického spoje příčle a sloupu je třeba posoudit svary mezi pásnicemi a stojinami. Každý z těchto svarů lze považovat za jeden spoj podle tabulky A.3.

Tabulka A.3 Navrhované minimální procento testovaných svarů [2] a [102]

Celkový počet spojů	Počet zkoušených spojů	Celkem %
6	3 (minimum)	50%
10	4	40%
15	5	33%
20	6	30%
30	8	27%
40	10	25%
50	12	24%

75	16	21%
100	20	20%
200	30	15%
300	40	13%
500	60	12%
1000	100	10%
2000	150	8%

A.3 Definice skupiny testovaných prvků – zkušební sada

Opětovně použité pruty se považují za skupinu, pokud pocházejí ze stejné původní konstrukce a splňují následující požadavky:

- Ocelová konstrukce byla postavena po roce 1970,
- Jsou stejné velikosti,
- Mají stejnou konstrukční funkci, např. příčle, stropní nosníky, sloupy, ztužidla atd.,
- Mají stejné rozměry a detaily (délka, spoje, atd.),
- Rozdílnosti ve ztužení průřezu výztuhami není překážkou pro zahrnutí do zkušební sady.

Pokud mají být ocelové konstrukce, původně vyrobené podle alternativní specifikace/normy (jiné než normy EN), uvedeny na trh, neměl by být materiál vyrobený podle různých norem v rámci zkušební sady smíchán - původ a výrobní norma všech materiálů ve skupině by měly být jednotné.

Jedna sada by měla mít maximální hmotnost 20 tun. V případě, že je opětovně použito velké množství stejných prvků, bude zapotřebí několik sad po 20 tunách. Definování zkušební sady, které mají být zkoušeny tímto způsobem, umožňuje stanovit určité charakteristiky materiálu pro skupinu zkoušením jednoho nebo více reprezentativních členů ze skupiny. U prvků tvářených za studena by skupina měla mít maximální hmotnost 4 tuny.

V tomto protokolu má pojem "sada" zvláštní význam, jak je uvedeno výše. V normách na výrobky, jako je EN 10025-2 nebo EN 10346, je podobným pojmem „zkušební jednotka“, která označuje soubor ocelových výrobků o stanovené celkové maximální hmotnosti, stejného tvaru, jakosti a dodacího stavu. „Zkušební jednotka“ může obsahovat výrobky různých tloušťek, zatímco v tomto protokolu je „sada“ omezena na výrobky stejné sériové velikosti. V normách pro výrobky je stanoveno, že se zkoušky provádějí ze vzorků ve zkušební jednotce; v tomto protokolu je stanoveno, že se zkoušky provádějí ze vzorků ze sady prvků pro opětovné použití.

A.4 Zkušební metody pro stanovení mechanických vlastností a chemického složení

A.4.1 Obecně

Vlastnosti jednotlivých komponent konstrukce mohou být značně rozdílné, i když všechny pruty a spojovací prvky odpovídají stejným specifikacím a třídám materiálu. Je totiž nutné charakterizovat vlastnosti materiálu v konstrukci pouze na základě pravděpodobných statistických rozdělení se středními hodnotami a variačními koeficienty. Znalost specifikace

a třídy materiálu, kterému konstrukční prvek odpovídá, a jeho přibližného stáří postačí k definování těchto vlastností pro téměř všechny případy ověřování.

Pokud je k dispozici původní stavební dokumentace včetně výkresů a specifikací, není obvykle nutné provádět zkoušky materiálu. Nejsou-li vlastnosti materiálu ve výkresech a specifikacích jasně uvedeny nebo nejsou-li výkresy a specifikace k dispozici, lze předpokládat třídy materiálu uvedené v tabulce 5.7. Alternativně lze provést omezené množství odebíraných vzorků materiálu a provedených zkoušek, aby se potvrdily třídy těchto materiálů.

Pokud se odběr vzorků provádí, měl by se uskutečnit v oblastech se sníženým napětím, aby se minimalizovaly účinky oslabené plochy, jako jsou konce pásnic na koncích prostě podepřených nosníků, okraje pásnic v oblasti středního rozpětí prutů tuhých rámu a okraje vnějších desek.

A.4.2 Destruktivní zkoušky pro stanovení vlastností materiálu

Metody destruktivního zkoušení (DT) vyžadují odběr malých vzorků ze stávající konstrukce. Potenciální metody DT jsou uvedeny v následující tabulce (viz tabulka A.5). Vzorky pro testování se odebírají řezáním nebo vrtáním. Vždy je třeba zvážit relevantnost stanovených hodnot výsledků zkoušek ve vztahu k možnému poškození konstrukce, např. křehnutí po zahřátí, když je vzorek odebrán řezáním plamenem, a zda by nebylo vhodnější použít nepřímé metody. Mechanické a metalurgické vlastnosti lze obvykle zjistit laboratorními zkouškami na stejném vzorku. Informace o odebírání vzorků oceli lze nalézt v příslušných normách, např. EN 10025 pro ocel.

Tabulka A.4 Možnosti destruktivního zkoušení

Popis	Popis	Komentář
Zkouška tvrdosti	Průměr otisku měřený při zatlačení kalené ocelové kuličky na hladký povrch známou silou.	Uvádí číslo tvrdosti, např. Vickersovo číslo podle ISO 6507 [103] které je vodítkem pro stanovení meze kluzu a meze pevnosti materiálu. Zkušební metoda podle Vickerse je uvedena v normě EN 1090-2. Dalšími alternativami jsou zkušební metody podle Rockwella ISO 6508 [104] a podle Brinella ISO 6505 [105] Viz take ASTM 1038:2017 [106].
Pozitivní materiálová identifikace	Používá rentgenovou fluorescenci a optickou emisní spektrometrii ke stanovení složení kovové slitiny a identifikaci třídy pomocí odečtu množství prvků v procentech.	Zásadní pro charakterizaci svařitelnosti ocelových konstrukčních prvků v závislosti na ekvivalentu uhlíku. Poskytuje další informace o typu a souvisejících fyzikálních vlastnostech oceli a o jejich legujících materiálech. ISO 19272 [107]. Viz take ASTM E572 [108] a ASTM 1476 [109].
Indentační zkouška	Indentační zkouška používá podobnou techniku jako zkouška tvrdosti s měřením zatížení a penetrace v opakovaných cyklech zatěžování a odlehčování	Výstupem z indentační zkoušky je vztah napětí a deformace, modul pružnosti, tvrdost a tuhost, viz ISO 14577-5 [110].
Zkouška děrováním	Při zkoušce malým průbojníkem se používá keramická kulička přitlačena k povrchu malého kruhového vzorku (průměr 8 mm, tloušťka 0,5 mm). Vztah napětí a deformace je pak odvozen z	Výpočet podle prEN 15627 [111], [112] lze použít ke stanovení meze kluzu a meze pevnosti oceli v tahu. Ekvivalentní vztah napětí a deformace tahového tělesa lze získat pokročilejším modelováním metodou konečných prvků..

	naměřeného zatížení v závislosti na posunu kuličky.	
--	---	--

A.4.2 Destruktivní zkoušky pro stanovení vlastností materiálu

Metody destruktivního zkoušení (DT) vyžadují odběr malých vzorků ze stávající konstrukce. Potenciální metody DT jsou uvedeny v následující tabulce (viz tabulka A.5). Vzorky pro testování se odebírají řezáním nebo vrtáním. Vždy je třeba zvážit relevantnost stanovených hodnot výsledků zkoušek ve vztahu k možnému poškození konstrukce, např. křehnutí po zahřátí, když je vzorek odebrán řezáním plamenem, a zda by nebylo vhodnější použít nepřímé metody. Mechanické a metalurgické vlastnosti lze obvykle zjistit laboratorními zkouškami na stejném vzorku. Informace o odebírání vzorků oceli lze nalézt v příslušných normách, např. EN 10025 pro ocel.

Tabulka A.5 Možnosti destruktivního zkoušení

Popis	Popis	Komentář
Tahová zkouška	Tahové zkoušky na adekvátních vzorcích, které poskytují údaje o mezi kluzu a mezní pevnosti v tahu, modulu pružnosti, rovnoměrném prodloužení a prodloužení při porušení.	V případě, že nejsou k dispozici osvědčení o materiálových vlastnostech. Podrobnosti o zkouškách viz EN ISO 6892-1 [113].
Analýza chemického složení	Zkoušky pro zjištění obsahu uhlíku, křemíku, manganu, síry a fosforu.	Identifikace materiálu a kontrola svařitelnosti oceli v závislosti na ekvivalentu uhlíku a na obsahu nečistot. Zkoušky se provádějí například na šponách. Poskytuje další informace o typu a souvisejících fyzikálních vlastnostech oceli. Viz EN ISO 14284 [114].
Charpyho zkouška vrubové houževnatosti	Křehkost a vrubová houževnatost při různých teplotách stanovená měřením energie potřebné k rozlomení standardního vzorku s U nebo V vrubem úderem kyvadla.	Charakterizuje podtřídu oceli, pokud nejsou k dispozici certifikáty materiálu. Podrobnosti o zkoušce viz EN ISO 148-1 [115]. Vrbová houževnatost lze zkoušet také na dílčích vzorcích a výsledky přepočítat tak, aby odpovídaly chování při zkouškách v plné velikosti.
Metalografie	Stanovení průměrné velikosti zrn.	Určení vnitřní struktury materiálu mikroskopickým zkoumáním vzorku s jedním rovným povrchem. Viz ASTM E 112 [116].

A.5 Zkušební postup

Technická specifikace CEN / TS 1090-201 [2]. popisuje čtyři zkušební postupy označené A až D. Doporučení pro výběr konkrétního postupu jsou uvedena níže a znázorněna na obrázku 53. Pokud byla původní konstrukce zhotovena podle EN 1090-2 a lze identifikovat třídy a/nebo vlastnosti konstrukčních prvků, lze k deklarování vlastností konstrukčního prvku použít originální inspekční certifikáty podle EN 10204, viz zkušební postup A v kapitole 5.3.4.3 specifikace CEN / TS 1090-201 [2]. Konstrukční prvky, jejichž původ je znám, by měly být seskupeny do zkušebních sad (kapitola 5.3.4.2 specifikace CEN / TS 1090-201 [2]).

Původ může být považován za známý, pokud je známa alespoň zeměpisná poloha, rok výstavby a dřívější funkce komponent. Výsledky měření a zkoušek provedených u jednoho nebo několika reprezentativních prvků lze extrapolovat na vlastnosti všech členů této zkušební sady (viz kapitoly 5.3.4.4 a 5.3.4.5 specifikace CEN / TS 1090-201 [2]).

Je třeba rozlišovat mezi konstrukční ocelí typu 1 a typu 2.

U konstrukční oceli typu 1 lze očekávat, že bude mít mechanické vlastnosti a svařitelnost podobné jako oceli vyrobené podle evropských norem uvedených v bodě 5.3 normy EN 1090-2:2018+A1:2024. Lze předpokládat, že variabilita jejich mechanických vlastností je v souladu s přílohou E normy EN 1993-1-1.

Mechanické vlastnosti konstrukční oceli typu 1 lze stanovit zkouškou jednoho reprezentativního vzorku podle zkušební postupu B v kapitole 5.3.4.4 specifikace CEN / TS 1090-201 [2].

U konstrukční oceli typu 2 nelze spolehlivě předpokládat variabilitu materiálových vlastností a mělo by být provedeno více zkoušek a statistická analýza výsledků podle postupu C v 5.3.4.5 specifikace CEN / TS 1090-201 [2].

Konstrukční prvky neznámého původu se nesmějí seskupovat do zkušebních sad a vyžaduje se komplexní zkoušení podle postupu D v 5.3.4.6 specifikace CEN / TS 1090-201 [2].

Alternativní přístup ke zkoušení meze kluzu, meze pevnosti, protažení a chemického složení v závislosti na třídě následků je uveden v [117].

A.6 Zkoušení pevnosti a protažení

A.6.1 Úvod

Pevnost a protažení materiálu lze hodnotit destruktivními i nedestruktivními zkouškami. V následující části jsou uvedeny pokyny pro oba typy zkoušek.

A.6.2 Posouzení spolehlivosti – prvky válcované za tepla a uzavřené

Výsledky nedestruktivních a destruktivních zkoušek se porovnají s minimálními hodnotami uvedenými v tabulce A.6, aby bylo možné určit třída oceli. Minimální hodnoty se stanoví snížením střední hodnoty o 1,64násobek směrodatné odchylky pro každou třídu oceli na základě údajů z tabulky A.7.

Tabulka A.6 Doporučené minimální hodnoty meze kluzu a meze pevnosti v tahu pro posouzení spolehlivosti prvků o průřezích válcovaných za tepla a uzavřených průřezích

Třída oceli	Mez kluzu (N/mm ²)			Mez pevnosti (N/mm ²)			f_u/f_y střední hodnota	Reference
	f_y Design	Min.	Mean	f_u Design	Min.	Mean		
S235	235	267	293	360	397	432	1.47	EN 10025-2; EN 10219
S275	275	313	343	410	452	492	1.43	EN 10025-2; EN 10219
S355	355	391	426	470	505	540	1.26	EN 10025-2; EN 10219
S460	460	490	529	540	560	594	1.12	EN 10025-3/4; EN 10219

Tabulka A.7 Údaje o vlastnostech oceli podle reference [118].

Třída oceli	Mez kluzu		Mez pevnosti	
	Střední hodnota (násobek charakteristické hodnoty)	CoV	Střední hodnota (násobek charakteristické hodnoty)	CoV
S235	1.25	0.055	1.20	0.050
S275	1.25	0.055	1.20	0.050
S355	1.20	0.050	1.15	0.040
S460	1.15	0.045	1.10	0.035

A.6.3 Posouzení spolehlivosti - prvky tvářené za studena

Výsledky nedestruktivních a destruktivních zkoušek se porovnávají s minimálními hodnotami uvedenými v tabulce A.8, aby se určila třída oceli. Minimální hodnoty jsou stanoveny snížením střední hodnoty o 1,64násobek směrodatné odchylky pro každou třídu oceli na základě údajů z tabulky A.7.

Vzhledem k tomu, že křivky vzpěrné pevnosti, podle normy EN 1993-1-3, nezávisí u ocelových prvků tvářených za studena na mezi kluzu, jsou v tabulce A.9 navrženy průměrné střední hodnoty meze kluzu, meze pevnosti a variačního koeficientu pro všechny třídy oceli až do S450.

Tabulka A.8 Doporučené minimální hodnoty meze kluzu a meze pevnosti v tahu pro posouzení spolehlivosti prvků o průřezích tvářených za studena

Třída oceli	Mez kluzu [N/mm ²]			Mez pevnosti v tahu [N/mm ²]			f_u/f_y střední hodnoty	Reference
	$f_{y,k}$	Min.	Střed. hod.	$f_{u,k}$	Min.	Střed. hod.		
S220	220	226	242	300	303	330	1.364	EN 10346
S250	250	257	275	330	333	363	1.320	
S280	280	288	308	360	364	396	1.286	
S320	320	329	352	390	394	429	1.219	
S350	350	360	385	420	424	462	1.200	
S390	390	401	429	460	465	506	1.179	
S420	420	432	462	480	485	528	1.143	
S450	450	463	495	510	515	561	1.133	

Tabulka A.9 Údaje o vlastnostech oceli podle reference.

Třída oceli	Mez kluzu		Mez pevnosti	
	Střední hodnota (násobek charakteristické hodnoty)	CoV	Střední hodnota (násobek charakteristické hodnoty)	CoV
S220 až S450	1.10	0.04	1.10	0.05

A.6.4 Nedestruktivní zkoušky tvrdosti

Úvod

Každý opětovně použitý prvek se podrobí nedestruktivní zkoušce tvrdosti, aby se stanovila hodnota meze kluzu a meze pevnosti oceli. Mezi naměřenou tvrdostí a pevností oceli existuje vztah, který je považován za dostatečně přesný pro určení třídy materiálu. Vztah mezi naměřenou tvrdostí a pevností materiálu závisí na typu provedené zkoušky tvrdosti

Zkouška tvrdosti by měla být provedena na opětovně použitých prvcích v místech s nižším provozním namáháním. U prostě podepřených nosníků se doporučují místa v blízkosti konce prvku. Z oblasti, která má být zkoušena, musí být odstraněna jakákoli povrchová úprava.

Výsledek tvrdosti materiálu by se měl uvažovat jako průměr tří měření na stejném místě. Aby bylo možné měření provést, musí být odstraněn nátěr a/nebo povrchová ochrana ocelové konstrukce.

Výsledky každého prvku ze sady by měly být posouzeny podle normy EN 1990, aby se určila reprezentativní hodnota pro celou sadu. Po stanovení hodnoty tvrdosti pro sadu by se měla vypočítat mez kluzu a mez pevnosti v tahu a porovnat je s minimálními hodnotami z tabulky A.6 a tabulky A.8 pro určení třídy oceli.

Vyhodnocení výsledků zkoušek tvrdosti

Tvrdot dílčího prutu by měla být brána jako průměr deseti měření. Pokud se tato průměrná hodnota pro příslušný prvek liší o více než 10 % od průměrné hodnoty pro sadu prvků, měl by být neshodný člen ze skupiny vyřazen.

Charakteristická hodnota tvrdosti H_v celé sady by měla být stanovena pomocí tabulky D.1 z normy EN 1990. Pro případ " V_x neznámý", se hodnota vypočte pomocí následujícího vztahu:

$$H_v = m - k_n S_x \quad (\text{A.1})$$

kde:

H_v je charakteristická hodnota tvrdosti celé sady;

m je průměrná hodnota tvrdosti celé sady (průměrná hodnota zkoušených prvků v sadě);

S_x je směrodatná odchylka výsledků;

k_n je převzato z tabulky D1 normy EN 1990 pro " V_x neznámý", viz tabulka A.10.

Tabulka A.10 Hodnoty k_n pro 5% charakteristickou hodnotu (EN 1990, tabulka D.1).

Počet prvků v sadě (n)	1	2	3	4	5	6	8	10	20	30	∞
V_x neznámý	–	–	3.37	2.63	2.33	2.18	2.00	1.92	1.76	1.73	1.64

zkoušeny na tvrdost podle Vickerse podle normy EN ISO 6507[103].

Vztah mezi tvrdostí a pevností materiálu

EN ISO 18265:2013 [120], příloha A obsahuje převodní tabulky z tvrdosti na mez pevnosti v tahu. Přepočítání zahrnuje značný rozptyl a získaná mez pevnosti v tahu má pouze informativní charakter.

Jako alternativu uvádí reference [119] vztah mezi Vickersovou zkouškou tvrdosti a pevností, který lze použít k odhadu materiálových vlastností.

CEN / TS 1090-201 [2] však srovnání nedoporučuje.

A.6.7 Destruktivní tahové zkoušky: nestatistické a statistické zkoušky

Úvod

Umístění vzorků pro destruktivní zkoušky by mělo být vybráno podle doporučení normy výrobku. Dodatek A normy EN 10025-1 obsahuje pokyny pro pruty a desky válcované za tepla. Příloha C normy EN 10219-1 obsahuje pokyny pro svařované uzavřené profily tvářené za studena, zatímco příloha C normy EN 10210-1 obsahuje pokyny pro uzavřené profily vyrobené za tepla.

Destruktivní zkoušky v tahu se používají ke stanovení následujících vlastností oceli:

- Mez kluzu;
- Mez pevnosti v tahu;
- Poměr meze kluzu ku mezi pevnosti v tahu;
- Protažení.

Destruktivní zkoušky v tahu se provádějí podle normy EN ISO 6892-1 [113]. Referenční místa zkušebních vzorků lze definovat podle normy ISO 377 [121]. Lze také postupovat podle pokynů příslušné normy výrobku, například EN 10025 nebo EN 10219.

Deklarovaná mez kluzu, mez pevnosti v tahu a protažení by měly vycházet z výsledků destruktivních zkoušek, nikoli z nedestruktivních zkoušek. Deklarovaná mez kluzu a mez pevnosti v tahu by měly být pevnosti uvedené v příslušné normě výrobku pro určenou jakost oceli, která je určena na základě výsledků destruktivních zkoušek, nikoli na základě nedestruktivních zkoušek.

Pokud opětovně použitý prvek nespĺňuje příslušnou normu výrobku, například EN 10025-2, pokud jsou deklarovány příslušné vlastnosti materiálu, podle EN 1090-2, kapitola 5.1 může být prvek použit. Jako příklad lze uvést, že pokud protažení při porušení naměřené destruktivní zkouškou nespĺňuje minimální hodnoty normy EN 10025-2 pro určitou jakost oceli, ale pokud je naměřené prodloužení takové, že jsou splněny minimální hodnoty normy EN 1993-1-1 pro globální analýzu pružnosti (viz tabulka 5.1), lze opětovně použitý prvek stále využít.

Nestatistické zkoušení

Kromě 100 % nedestruktivního zkoušení se vyžaduje jedna destruktivní zkouška (odebraná z kteréhokoli prvku sady), která musí splňovat minimální hodnoty z tabulky A.6 nebo tabulky A.8. Jediná zkouška nemá statistickou hodnotu, a proto se označuje jako "nestatistická".

Nestatistické destruktivní zkoušky (tj. jedna destruktivní zkouška ze sady) se doporučují pro ocel, která má být použita v konstrukcích třídy následků 1 nebo třídy následků 2. Mechanické vlastnosti konstrukční oceli typu 1 lze stanovit zkouškou jednoho reprezentativního vzorku podle zkušební postupu B v 5.3.4.4 specifikace CEN / TS 1090-201 [2].

Nestatistický zkušební postup se nedoporučuje pro prvky tvářené za studena.

Statistické zkoušení - vyhodnocení výsledků zkoušek v tahu

Kromě 100 % nedestruktivních zkoušek se vyžadují minimálně tři destruktivní zkoušky v rámci zkušební sady. Zvýšení počtu zkoušek zlepší přesnost stanovených hodnot a obecně vede k vyšším hodnotám.

Charakteristická hodnota meze kluzu a meze pevnosti celé sady by měla být stanovena pomocí tabulky D1 z normy EN 1990 za předpokladu, že " V_x je známý", a vypočtena pomocí následujícího výrazu:

$$X_d = m - k_n S_x \quad (\text{A.2})$$

kde:

X_d je charakteristická hodnota veličiny (mez kluzu nebo mez pevnosti);

m je průměrná hodnota veličiny;

S_x je směrodatná odchylka;

k_n je převzato z tabulky D1 normy EN 1990 pro " V_x známý", viz tabulka A.11.

Tabulka A.11 Hodnoty k_n pro 5% charakteristickou hodnotu (EN 1990, tabulka D.1).

Počet destruktivních zkoušek	1	2	3	4	5	6	8	10	20	30	∞
V_x známý	2.31	2.01	1.89	1.83	1.80	1.77	1.74	1.72	1.68	1.67	1.64

Použití " V_x známý" je oprávněné, protože variační koeficient pro mez kluzu i mez pevnosti v tahu je známý.

Pokud je statistické zkoušení dokončeno, měly by být vypočtené hodnoty z destruktivních zkoušek použity k určení třídy oceli z tabulky A.6 nebo z tabulky A.8.

A.7 Vrubová houževnatost

Pokud nejsou provedeny destruktivní zkoušky, mělo by se předpokládat, že ocel je podtřídy JR podle EN 1993-1-10. Provedení destruktivních zkoušek, které by prokázaly, že opětovně použitá ocel má vyšší pevnosti, může být ekonomicky výhodné, zejména u průřezů s tlustšími stěnami.

Pokud je to nutné, měly by být použity destruktivní zkoušky pro stanovení ocelové podtřídy prutů v rámci sady na základě zkoušek jednoho reprezentativního prutu. Podle normy EN

10025-1 je pro účely zkoušek požadováno šest vzorků odebraných z míst uvedených v příloze A normy EN 10025-1.

Pro každých 20 tun v sadě by měla být použita jedna sada zkoušek (šest vzorků) z jednoho prutu pro stanovení vrubové houževnatosti pro všechny pruty v dané sadě. Charpyho zkouška má být provedena podle normy EN ISO 148-1 [115].

A.8 Chemické složení

A.8.1 Úvod

Chemické složení opětovně použité oceli by mělo být stanoveno tak, aby bylo možné vypočítat hodnotu uhlíkového ekvivalentu (CEV) pomocí výrazu v kapitole 7.2.3 normy EN 10025-1 nebo v kapitole 6.6.1 normy EN 10219-1.

Chemické složení by mělo být posouzeno pomocí nedestruktivních a destruktivních metod zkoušení. Za CEV pro sadu by se měla považovat maximální hodnota CEV z jakékoli zkoušky, včetně výsledků nedestruktivních i destruktivních zkoušek

Chemické složení každého jednotlivého prvku by mělo být testováno a zaznamenáno. Pokud se naměřený obsah uhlíku nebo manganu u jednotlivého prvku liší o více než 10 % od průměrné hodnoty pro sadu, měl by být neshodný člen ze skupiny vyřazen.

Předpokládané chemické složení konkrétní oceli lze nalézt v kapitole 6.6.1 příslušné části norem EN 10025 a EN 10219. Pro výrobky tvářené za studena lze použít normu EN 10346, kde je v tabulce 2 též uvedeno předpokládané chemické složení ocelí pro stavebnictví.

Není-li ocelová konstrukce určena ke svařování, není prohlášení o chemickém složení prvků tvářených za studena třeba.

A.8.2 Nedestruktivní zkoušky pro stanovení chemického složení

Ke stanovení chemického složení ocelového prvku lze použít optickou emisní spektroskopii. Ačkoli je tato technika považována za nedestruktivní zkušební metodu, na povrchu oceli zůstává malý otřep.

Chemické složení lze posoudit podle normy ISO 19272 [107].

A.8.3 Destruktivní zkoušky pro stanovení chemického složení

Chemické složení oceli lze určit analýzou špon z vyvrtaného otvoru. Prut by měl být vyvrtán v místě s nízkým namáháním. Chemické složení lze posoudit podle normy EN ISO 14284 [114].

A.9 Geometrické tolerance

A.9.1 Rozměry průřezu

U všech prutů se musí změřit rozměry průřezu (výška, šířka, tloušťka pásnice, tloušťka stojiny, tloušťka stěny atd.). Majitel musí předložit prohlášení o naměřených rozměrech.

Pokud rozměry průřezu nespádají do povolených odchylek podle normy výrobku, měly by se pro stanovení vlastností průřezu použít naměřené rozměry.

A.9.2 Prohnutí prutu (nedostatečná přímost)

Přímost každého prutu v obou osách by měla být změřena a porovnána s povolenými odchylkami podle normy EN 1090-2. Pruty, které jsou mimo povolené odchylky, by měly být v rámci výrobního procesu rovnány.

A.10 Další pokyny pro ocelové výrobky tvářené za studena

A.10.1 Složení kovového povlaku, označení a gramáž vrstvy

Složení kovového povlaku musí být uvedeno podle normy EN 10346 (například Z, ZF, ZA, ZM, AZ, AS). Kapitola 3 normy EN 10346 uvádí klíčové chemické složky pro každý typ povlaku. Všechny členy musí být zkoušeny nedestruktivními zkušebními metodami.

Pro posouzení hmotnosti povlakové vrstvy je třeba vzít v úvahu kapitolu 7.3 normy EN 10346. Pro posouzení skutečného označení povlaku lze použít minimální hodnotu gramáže povlaku v jednom místě. Pro posouzení tloušťky povlaku se použijí doporučení z kapitoly 7 normy EN 10346. Tloušťku vrstvy kovů s povlakem ve svitku lze posuzovat podle normy EN 13523-1 [122].

A.10.1 Poměr poloměru ohybu k tloušťce a přilnavost kovového povlaku

Vzhledem k tomu, že opětovně použitá ocelová konstrukce je již ohnutá, provede se u každého opětovně použitého prvku vizuální kontrola za účelem posouzení možných trhlin a přilnavosti kovového povlaku v blízkosti oblasti ohybu. V místech ohybu nesmí být pouhým okem viditelné žádné trhliny (EN1090-4, kapitola 6.1). Cílem posouzení přilnavosti je odhalit jakoukoli přilnavost, která není "dokonalá". Může se jednat o páčení, ohýbání, tlučení, zahřívání, řezání, broušení, tahání, rýhování nebo kombinaci těchto metod. Pokud se povlak odlepuje od podkladu, je přilnavost méně než dokonalá. V kapitole 7.10 normy EN 10346 se uvádí, že přilnavost povlaku se zkouší pomocí "vhodné metody", přičemž výběr metody je "ponechán na uvážení výrobce". Viz také odkazy [123] a [124].

A.11 Posouzení opětovně použité oceli podle postupu D

A.11.1 Prvky o válcované za tepla a uzavřené

U konstrukční oceli neznámého původu lze pro analýzu a návrh použít konzervativní předpoklady o vlastnostech materiálu. Lze předpokládat konzervativní materiálové vlastnosti uvedené v tabulce A.12.

Tabulka A.12 Doporučené materiálové charakteristiky pro nezkoušenou konstrukční ocel

Materiál	f_y [N/mm ²]	f_u [N/mm ²]	G [N/mm ²]	E [N/mm ²]	ϵ_{uk} [%]	ν	ρ [kg/m ³]	α_T [10 ⁻⁶ /°C]
Prvky	235	360	81000	210000	15+	0.30	7850	10
Svary	–	360	–	–	–	–	–	–

Na základě stáří a umístění budovy lze použít místní normy pro stanovení konzervativní hodnoty meze kluzu a meze pevnosti v tahu.

A.11.2 Prvky tvářené za studena

U opětovně použitých ocelových konstrukcí tvářených za studena se vzhledem k tomu, že je pravděpodobně k dispozici široká škála ocelových tříd, nedoporučuje předpokládat mez kluzu vyšší než 120 MPa a pevnost v tahu vyšší než 260 MPa. Podrobnější informace viz EN 10346, kapitola 7 a EN 1993-1-3, kapitola 3.

A.11.3 Svařované spoje

Pokud se žádné zkoušky neprovádějí, musí se scénář opětovného použití v ideálním případě vyhnout svařovacím postupům. Pro případy, kdy jsou svařovací postupy vyžadovány, lze předpokládat hodnotu CEV 0,51 (na základě normy BS 4360 z roku 1969 [57]). K posouzení předpokládané hodnoty CEV lze použít nedestruktivní zkoušky.

Příloha B

Dílčí součinitel pro stabilitu

B.1 Stanovení materiálového součinitele podle EN 1990

Tento dodatek obsahuje postup pro odvození modifikovaného dílčího součinitele $\gamma_{M1,mod}$ pro znovu použité ocelové pruty náchylné ke ztrátě stability. Tento postup vychází ze zásad normy EN 1990 a níže uvedené odkazy se týkají tohoto předpisu. Norma definuje dílčí součinitel γ_M pro vlastnost materiálu, který zohledňuje také modelové nejistoty a geometrické odchylky. Čl. 8.3.5(2) normy uvádí:

$$\gamma_M = \gamma_{Rd} \gamma_m \quad (\text{B.1})$$

kde

- γ_m je dílčí součinitel vlastnosti materiálu;
- γ_{Rd} je dílčí součinitel vyjadřující nejistoty modelu odolnosti a geometrické odchylky, pokud nejsou explicitně zohledněny.

Norma EN 1090 nestanovuje specifickou hodnotu γ_{Rd} , protože hodnota závisí na konstrukčních materiálech a chování konstrukčního prvku. Obvykle se u ocelových konstrukcí pohybuje mezi hodnotami 1,05 a 1,15 [125]. Dílčí součinitel γ_m se získá podle kapitoly 8.3.6 následujícím způsobem:

$$\gamma_m = \frac{X_k}{X_d} \quad (\text{B.2})$$

kde

- X_k je charakteristická hodnota vlastnosti materiálu nebo výrobku;
- X_d je návrhová hodnota vlastnosti materiálu nebo výrobku.

Pro dílčí součinitel γ_{M1} , X_k je nominální hodnota meze kluzu pro příslušnou třídu oceli, $f_{y,nom}$, a X_d je definováno v bodě C4.4.2(3), rovnice (C.14) pro normální rozdělení následovně:

$$X_d = \bar{X} (1 - \alpha_R \beta V_X) \quad (\text{B.3})$$

kde

- \bar{X} je střední hodnota vlastnosti materiálu nebo výrobku;
- α_R je součinitel citlivosti vlastnosti materiálu, který dosahuje hodnot mezi 0 (nulová citlivost) a 1 (maximální citlivost); v bodě C4.4.2(3) se doporučuje hodnota 0,8;
- β je cílový index spolehlivosti;
- V_X je variační koeficient vlastnosti materiálu nebo výrobku.

B.2 Odvození modifikovaného dílčího součinitele $\gamma_{M1,mod}$

Hodnota dílčího součinitele závisí na hodnotě cílového indexu spolehlivosti a na nejistotách ovlivňujících únosnost prutu, jako jsou nejistoty týkající se rozměrů a vlastností materiálu.

Pokud se použijí postupy pro posuzování podle CEN TS 1090-201 [2] lze předpokládat, že nejistota vlastností je přinejmenším podobná těm u nových profilů. Proto je rozumné uvažovat stejnou hodnotu dílčího součinitele, jaká se používá pro nové profily.

V ostatních případech může být nutné posoudit spolehlivost případ od případu.

V projektu RFCS PROGRESS [54] je navržen zjednodušený postup vedoucí k modifikovanému dílčímu součiniteli. Bezpečně lze předpokládat, že při vlivu stability na návrh opětovně použitých prutů, dílčí součinitel pro modelovou nejistotu a geometrickou odchylku nabývá maximální hodnoty 1,15. V takovém případě se vypočítá modifikovaný dílčí součinitel $\gamma_{M1,mod}$, který je definován následovně:

$$\gamma_{M1,mod} = K_{\gamma_{M1}} \gamma_{M1} \quad (B.4)$$

kde

$K_{\gamma_{M1}}$ je korelační součinitel.

Korelační součinitel lze bezpečně uvažovat hodnotou 1,15.

$$K_{\gamma_{M1}} = 1.15 \quad (B.5)$$

Z toho vyplývá modifikovaná hodnota dílčího součinitele $\gamma_{M1,mod}$.

$$\gamma_{M1,mod} = 1.15 \quad (B.6)$$



**Funded by
the European Union**

Cílem projektu ADVANCE je přispět ke snížení emisí skleníkových plynů a implementaci cirkulární ekonomiky tím, že se tyto výzvy budou řešit jak při demolici, tak při opětovném použití stávajících ocelových konstrukcí, navrhování nových konstrukcí, jejich výstavbě a dokumentaci, která usnadní budoucí opětovné použití. Publikace zahrnuje opětovné použití základních produktů, konstrukčních prvků a celých konstrukcí. Opětovně použitý materiál může pocházet z primárních konstrukcí, sekundárních konstrukcí a obálek. Snížení emisí skleníkových plynů v rámci ocelářského průmyslu se v posledních letech stalo klíčovým, a to s hlavním zaměřením na stavební výrobky, které nejvíce přispívají k jeho ekologické stopě. Odvětví stavebnictví představuje příležitost zavést technologie na bázi oceli do vedoucí pozice pro dekarbonizaci dalších relevantních průmyslových odvětví závislých na řešeních v oblasti oceli.

**ECCS
CECM
EKS**



EUROPEAN CONVENTION FOR CONSTRUCTIONAL STEELWORK
CONVENTION EUROPÉENNE DE LA CONSTRUCTION MÉTALLIQUE
EUROPÄISCHE KONVENTION FÜR STAHLBAU

publications@steelconstruct.com | www.steelconstruct.com

TC14 je v rámci ECCS technická komise pro udržitelnost a ekologickou efektivitu ocelových konstrukcí. Cílem komise je podporovat rozvoj v průmyslu a ve výzkumných a pedagogických komunitách, které posilují znalosti a schopnosti ve vztahu k udržitelným ocelovým konstrukcím. Široká oblast problematiky zahrnuje například následující aspekty: řízení celkové energetické a environmentální náročnosti budov v průběhu jejich životního cyklu; technologie pro zlepšení této účinnosti; technologie pro zvýšení kvality a komfortu vnitřního prostředí; minimalizace zdrojů a využití surovin.