

Využití principů Human-Centered Design při ergonomickém navrhování blokových dozoren JE

Petr A. SKŘEHOT (skrehot@vuje.cz) – František HOUSER (houser@vuje.cz) – Radek Říha (riha@vuje.cz) – Zdeněk Tůma (tuma@vuje.cz),
VÚJE Česká republika, s.r.o.

Deskriptory *INIS*: CONTROL ROOMS; DESIGN; HUMAN FACTORS ENGINEERING; MAN-MACHINE SYSTEMS; REACTOR OPERATORS

Při výstavbě nových řídicích center stejně tak jako při modernizaci těch stávajících je snahou ergonomů i projektantů navrhovat taková řešení, která umožní zlepšit pracovní podmínky operátorů a snížit jejich psychickou zátěž pramenící z náročnosti jimi vykonávaných činností i vysoké odpovědnosti, kterou nesou. Ovšem vyhovět potřebám operátorů na straně jedné a omezením dané prostorem, technickým řešením nebo finančními možnostmi investora na straně druhé bývá často složité. Zvládnutí tohoto nelehkého úkolu si proto nutně žádá zodpovědný přístup spočívající v rozumné implementaci ergonomických aspektů do designu operátorského rozhraní, konstrukce pracovních stanic i parametrů pracovního prostředí. K tomuto účelu byly postupně vyvinuty různé ergonomické přístupy. Jedním z nich je Human-Centered Design, což je filozofie akcentující lidské potřeby a omezení v kontextu na stavebně-technické možnosti daného prostoru. Tento článek se zaměřuje na prezentaci hlavních aspektů souvisejících s navrhováním blokových dozoren JE podle principů Human-Centered Design.

1. ÚVOD

V posledních desetiletích došlo k významnému rozvoji průmyslu, který narostl jak co do produkce, tak i co do složitosti provozovaných technologií. Z tohoto důvodu bylo nutné stále více přecházet k centrálnímu způsobu řízení. Vznikla tak specifická pracoviště, dnes označovaná jako řídicí centra. Řídicí centra jsou typická zejména pro energetiku (tj. klasické a jaderné elektrárny), procesní průmysl (chemie, hutnictví, potravinářství apod.), dálkovou přepravu médií (produktovody, plynovody), dopravu (letecká, železniční a silniční) i mnohá další ekonomická odvětví.

Ve smyslu normy ISO 11064-1 [1], která se podle normy EN 60964 [2] vztahuje také na blokové dozory JE, se řídicím centrem rozumí základní fyzická jednotka a její struktura (včetně přímo obklopujícího prostředí), kde obsluha provádí kontrolní a manipulační činnosti včetně plnění administrativních úkolů. Je to tedy pracoviště určené pro ovládání určitého výrobního celku

vyznačujícího se složitými vazbami s cílem plnit a dlouhodobě udržovat stanovené bezpečnostní a výkonnostní požadavky. To se uskutečňuje prostřednictvím přidělených funkcí rozdělených mezi člověka a stroj, jejichž společným úkolem je ovládat jednotlivé provozní zařízení na dálku. Strojem se v tomto smyslu rozumí hardware a software systému kontroly a řízení (SKŘ); člověkem je míněna provozní obsluha, která je tvořena operátory řídicího centra, obslužným personálem a techniky pracujícími přímo ve výrobním provozu [2]. Chod řídicího centra a činnosti obslužného personálu jsou pevně stanoveny příslušnými provozními předpisy, přičemž jakákoli improvizace obsluhy je nepřijatelná.

2. SPECIFIKA ŘÍDICÍCH CENTER

Podle studie Hendersona a kol. [3] se v procesním průmyslu (vč. energetiky) můžeme setkávat s různými způsoby řízení výrobního procesu založenými jak na digitální tak i analogové technologii. Pokud jde o jaderné

elektrárny, pak zde se v současnosti používá výlučně dálkového ovládání prostřednictvím digitální technologie, přičemž operátoři trvale pracují v řídicím centru (blokové dozorně), zatímco provozní personál provádí fyzickou kontrolu stavu technologických zařízení v rámci svých povinností daných příslušným provozním předpisem nebo provádí drobné ruční manipulace podle pokynů operátorů z blokové dozorny. To řadí blokové dozorny JE mezi nejsložitější řídicí centra vůbec a to jak po stránce technické, tak i po stránce organizační.

Podle provedených srovnávacích studií mají ovšem takováto řídicí centra i své slabiny. Prokázalo se, že prostředí řídicích center má tendenci izolovat operátory na jejich pracovních stanicích [4]. V některých řídicích centrech pokročilá digitalizace dokonce vyvolala zcela nové situace v mezilidské interakci (např. odcizení od reality výrobního procesu), což si vynutilo přijetí nových opatření pro koordinaci činností uvnitř pracovních týmů [5]. Kromě toho vlastní používání moderních displejů a ovládacích prvků (myš, klávesnice, trackball aj.) zvýšilo nároky na mentální a senzorický výkon operátorů, což vedlo k nárůstu požadavků na jejich kognitivní funkce, vigilanci, pozornost a reakční čas. U člověka vystaveného takovému nárokům nastává po přibližně 3 hodinách fáze snižování mentálního výkonu, přičemž samotná vigilance rapidně klesá již po 30 minutách sledování displejů. Po 5 hodinách práce pak dochází k útlumu mentálních funkcí doprovázeného únavou a otupělostí [6]. V delším časovém horizontu pak u řady operátorů vznikají specifické psychosomatické obtíže, které mohou vést až k nejrušnějším nemocem z povolání, zvláště pak, pokud na operátora současně působí i jiné negativní vlivy (např. nevhodné mikroklimatické podmínky, trvalá poloha vsedě aj.) [7]. Na tento a řadu dalších negativních důsledků se přišlo až s odstupem času, kdy se projeví v celé své šíři.

3. NAVRHOVÁNÍ ŘÍDICÍCH CENTER

Platí základní pravidlo, že design řídicího centra musí být řešen tak, aby operátorům poskytoval pohodlné a dostatečně funkční prostředí. Pracovní prostředí uvnitř řídicího centra musí být stabilní, avšak současně musí umožňovat drobné korekce vyhovující individuálním potřebám operátorů (směnám). Pouze tak lze zajistit podmínky pro maximální spolehlivost výkonu operátorů během celé směny a za všech provozních stavů.

Každé řídicí centrum je samozřejmě specifické a nelze tedy vytvořit „defaultní“ vzor, který by bylo možné aplikovat plošně [8]. Proto byla navržena obecná kritéria, kladená na návrh, přičemž rozhodující jsou tyto dva hlavní aspekty [9]:

- Vhodnost stavebně–technického řešení, které musí vyhovovat potřebám vlastního provozu (funkcí) a také musí odolat nežádoucím důsledkům v případě vzniku abnormálních událostí i v havarijních podmínkách.

- Vhodnost uspořádání interiéru (nábytek, ovládací panely, pracovní stanice, zobrazovací jednotky atd.) pro zajištění účinného provozu za normálních, abnormálních a havarijních podmínek.

V doporučeních Mezinárodní agentury pro atomovou energii se uvádí, že provozovatel jaderné elektrárny musí být schopen prokázat, že výše uvedené aspekty byly při návrhu zohledněny a že byla aplikována opatření ke snížení pravděpodobnosti selhání operátorů v důsledku konstrukčních nedostatků blokové dozorny [10]. Je tedy nezbytné, aby na blokovou dozornu a její obsluhu bylo nahlíženo jako na jeden komplexní pracovní systém a nikoli jako na samostatné izolované prvky či subsystémy. V této souvislosti lze uvést dva historické případy, které dokreslují, jaké důsledky může mít ignorování tohoto přístupu v praxi.

- **Případ první:** V 80. letech 20. století si operátoři v několika amerických jaderných elektrárnách nalepili na ovládací panely barevné pásky, neboť originální značení postrádalo jasné vymezení seskupení určitých ovládačů a sdělovačů do funkčních skupin, což znehledňovalo jejich použití. Vedení elektrárny však nařídilo tyto značky odstranit s odkazem na rozpor s předpisy. Estetická stránka vzhledu blokové dozorny a potřeba striktního dodržení nedokonalého standardu tak byla postavena nad potřeby operátorů. Ve svém důsledku to vedlo k nedostatku informací o stavu měřených veličin a postupem času se u většiny operátorů zakořenil pocit, že se lze spolehnout pouze na informace získané jen z jednoho displeje. Provádění křížových kontrol hodnot na hlavním displeji a hodnot na panelech se tak postupně přestalo provádět. V důsledku toho začaly vznikat situace, kdy nebyly včas zachyceny přechodové stavy, neboť nebylo možné potvrdit, zda používaný displej funguje správně. Následkem toho došlo několikrát ke zcela zbytečnému odstavení reaktoru [6].

- **Případ druhý:** Při renovaci osvětlení v blokové dozorně jedné jaderné elektrárny byla použita levnější osvětlovací tělesa bez difúzních krytů, což způsobilo nehomogenitu v rozložení intenzity světla v místnosti. Při odečítání hodnot z některých ovládacích panelů docházelo k tak výrazným odleskům, že operátoři byli nuceni část osvětlovacích těles odpojit. To mělo ovšem za následek, že čtení některých sdělovačů se stalo nemožným, takže operátoři byli nuceni začít používat ruční baterky [6].

Ačkoli výše uvedené případy jsou již více než 30 let staré, řada autorů (např. [11]) poukazuje na vlastní zkušenosti, podle níž se lze i dnes hojně setkávat s případy, kdy snaha vyřešit jeden problém vyvolá několik problémů nových. Nelze se proto divit, že i nejlépe vyškolení a zkušenější operátoři mohou za takových podmínek vykazovat horší výkony, případně mohou provést zcela nesmyslné chyby i při jinak naprosto rutinních úkonech [12].

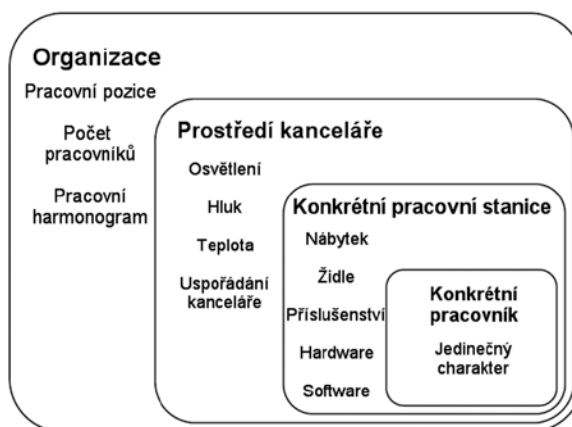
4. HUMAN-CENTERED DESIGN

Účelem řídicího centra je sledovat, kontrolovat a řídit řadu procesů, které z nejrůznějších důvodů nemůže vykonávat člověk přímo. To si žádá určitou úroveň automatizace systému, která vyžaduje sofistikovanější nástroje kontroly nebo řízení, jakými jsou počítače, měřidla, software a pracovní procesy. Ovšem používání těchto nástrojů může za některých okolností, paradoxně, vyvolávat více příležitostí k selhání lidského faktoru. V reakci na to jsou činěny pokusy snížit pravděpodobnost lidských chyb další automatizací nebo redundantními prvky, což v konečném důsledku může vést k neschopnosti lidí efektivně zasáhnout v případě výskytu problému nebo při zmínění následků nějaké provozní události (nehody) [13] případně i havárie. Některé z kritických problémů, které mohou zvýšit rizika spojená s automatizovaným řízením, jsou následující:

- Omezený transfer informací a jejich správné pochopení mezi všemi osobami podílejícími se na řízení procesu.
- Obtížné určení příčin nebo zdrojů problémů, provozních událostí nebo havárií.
- Omezené vnímání odezvy technologického zařízení ze strany operátorů po vykonání korigujícího zásahu.
- Nedostatečná integrace lidského činitele do procesu řízení v důsledku nezvážení silných a slabých stránek člověka včetně jeho výkonových omezení (souvisí zejména s designem řídicího centra, návrhem interface, posouzením psychické a sensorické zátěže a s přidělováním funkcí a rolí jednotlivců v rámci celého procesu řízení).
- Nedostatečná nebo omezená komunikace klíčových osob.
- Tendence navrhovat řídicí systém jen pro normální provozní stav.
- Volba nevhodných prostředků a vybavení (technická podpora).
- Neúčinné tréninkové metody.
- Přílišná závislost operátorů na provozních postupech.
- Špatně definovaná kritéria pro výběr operátorů (zejména s ohledem na kompetence, kognitivní výkon, paměť a dovednosti).

Z tohoto důvodu je nutno blokové dozorny navrhovat s akcentem na člověka, jeho potřeby a omezení v souvislosti s výkonem práce operátora. Tento přístup se nazývá Human-Centered Design (HCD). Jeho koncept předpokládá, že ústředním prvkem pracovních systémů je člověk (operátor) a proto je nutno při návrhu vycházet z požadavku na vyváženost pohodlí obsluhy [14] při plném zachování všech funkčních a bezpečnostních požadavků kladených na pracovní systém. Pracovní systém v tomto pojetí připomíná slupky, které jedna za druhou obklopují člověka (viz obr. 1).

Většina organizačních faktorů a faktorů pracovního prostředí, stejně jako výběr vybavení blokové dozorny



Obr. 1 Základní koncepce přístupu Human-Centered Design podle [14]

a jeho stavebně-technické řešení ovlivňuje management, kdežto způsob využívání jednotlivých prvků pracovních stanic je obvykle pod kontrolou operátorů. Naplnění filozofie HCD proto předpokládá:

- Zajištění ovladatelnosti systému při provádění všech reálně očekávaných operací a to jak za normálního a abnormálního provozu, tak i v havarijních podmínkách.
- Implementování všech požadavků vycházejících z technických norem, právních předpisů či standardů provozovatele týkajících se řídicích center.
- Zpracování ergonomické studie ve fázi návrhu, která bude zaměřena především na prvky pracovního prostředí (tj. dispozice, osvětlení, barvy, akustické podmínky, operátorské stanice, interface, nábytek a vybavení, atd.) a její výsledky budou zohledněny do vlastního návrhu blokové dozorny.

Pro úspěšné naplnění všech výše uvedených podmínek je nutné definovat procesy vstupující do návrhu, výroby a vlastní výstavby řídicích center, které zahrnují:

1. Koncepční návrh,
2. Návrh základního designu,
3. Návrh podrobného designu,
4. Výstavbu a montáž.

Při výstavbě nových blokových dozoren je koncepční návrh naprosto klíčový, neboť právě v této fázi lze nejvíce ovlivnit jeho finální vzhled a technické řešení interiéru. Tato etapa zahrnuje také diskusi o požadavcích provozovatele, což umožňuje nalézat optimální ergonomické varianty řešení. Pozdější úpravy obvykle již nejsou možné, anebo neposkytují očekávané přínosy [8]. Při koncepčním návrhu se definují a porovnávají vlastnosti širokého spektra atributů, které jsou zvláště důležité z hlediska ergonomie a spolehlivosti lidského činitele tak, aby bylo dosaženo konsensu mezi očekáváním a možnostmi [15]. Návrh se v této fázi zaměřuje zejména na:

- Stavebně-technické řešení blokové dozorny;
- Individuální uspořádání pracovních stanic a jejich rozměry;
- Volbu zobrazovacích a ovládacích prvků;

- Informační a datové toky;
- Speciální zabezpečení a řízení přístupu;
- Pracovní podmínky, prostředí a způsoby ovládání;
- Provoz, řízení a kontrolu;
- Komunikační a informační požadavky.

Teprve po vytvoření konceptu návrhu, je možné přistoupit k návrhu konkrétního designu, který zahrnuje také grafické varianty dispozičního uspořádání interiéru blokové dozorny. V této fázi je nutno diskutovat výhody a nevýhody různého rozložení pracovních stanic, displejů, ovládacích panelů a ostatního vybavení, přičemž se přihlíží k aspektům pracovního prostředí, jakými jsou charakteristiky osvětlení, rozložení zdrojů hluku v místnosti, tepelně-vlhkostní podmínky, řešení výustek klimatizace apod. Návrh by měl kromě dispozičního řešení interiéru blokové dozorny řešit také otázky vzájemných vazeb mezi prvky pracovního systému, které se mohou vzájemně ovlivňovat. Dále musí obsahovat analýzu podmínek souvisejících s možností komunikace mezi operátory (řečová komunikace a vizuální kontakt), s dostupností potřebných dat a informací (tj. zorné úhly, velikosti zobrazovaných znaků, řešení popisů a značek na panelech apod.) či s řešením pochozích tras (vzdálenosti k východům a k ovládacím panelům, šířky uliček apod.).

Další fází procesu HCD je vytvoření podrobného designu návrhu a to nejlépe formou 3D vizualizace, v rámci které existuje poslední možnost provést systémové úpravy designu. 3D model totiž poskytuje věrohodný pohled na reálné řešení designu řídicího centra při zachování velikostních poměrů vybavení, lidí a celkového prostoru [8]. Teprve odsouhlasený finální návrh by měl být východiskem pro výstavbu a montáž blokové dozorny, přičemž by se během výstavby již neměl ad hoc měnit.

5. ZÁVĚR

Zavádění digitálních technologií řízení a zvyšování nároků na operátory je neodvratitelným procesem doprovázejícím modernizace řídicích center, popř. výstavbu nových. Spolu s tím nutně dochází také ke změnám v pracovním prostředí, které ne vždy vedou ke zlepšení pracovních podmínek a pohodlí operátorů. Tento trend lze pozorovat ve všech sektorech, kde jsou řídicí centra využívána. Je proto nezbytné diskutovat vhodnost navržených konceptů nejen na úrovni projektant–zadavatel (management provozovatele), ale také na úrovni koncových uživatelů (operátorů) a odborníků na aplikovanou ergonomii. Možným východiskem pro praktické zvládnutí tohoto úkolu je uplatnění principů Human–Centered Design. Ten je v současnosti v rámci úprav blokových dozoren JE doporučován také mnoha regulátory či jinými kompetentními autoritami. Jelikož je cílem HCD přizpůsobovat prvky pracovního systému lidským potřebám a omezením (zejména interface), umožňuje jeho zavedení do praxe také předcházení chybám operátorů.

Poděkování

Výsledky publikované v tomto článku vznikly v rámci řešení výzkumného projektu TD020017 „Hodnocení vlivu pracovního prostředí blokových dozoren průmyslových provozů na spolehlivost výkonu operátorů“, který je spolufinancován Technologickou agenturou ČR.

Literatura

- [1] ČSN EN ISO 11064–1: Ergonomické navrhování řídicích center – část 1: Zásady navrhování řídicích center Praha: Český normalizační institut, 2001. 32 s.
- [2] ČSN EN 60964: Jaderné elektrárny – Dozorny – Návrh. Praha: Český normalizační institut, 2011. 35 s.
- [3] Henderson, J. a kol.: Human factors aspects of remote operation in process plants. [online]. Health and Safety Executive. 2002. Dostupný z WWW: <http://www.hse.gov.uk/research/crr_pdf/2002/crr02432.pdf>.
- [4] Härefors, E.: Use of large screen displays in nuclear control room. [online]. 2009. Dostupný z WWW: <<http://uu.diva-portal.org/smash/get/diva2:278953/FULLTEXT01.pdf>>.
- [5] Carvalho, P. a kol.: Human centered design for nuclear power plant control room modernization. [online]. 2011. Dostupný z WWW: <<http://ceur-wws.org/Vol-696/paper4.pdf>>.
- [6] Swain, A. D. – Guttman, H. E.: Handbook of human reliability analysis with emphasis on nuclear power plant applications. NUREG/CR–1278. US Nuclear Regulatory Commission, 1983.
- [7] The human machine interface as an emerging risk. [on line]. European Agency for Safety and Health at Work. 2009. Dostupný z WWW: <https://osha.europa.eu/en/publications/literature_reviews/HMI_emerging_risk>.
- [8] Naito T. a kol.: Control Room Design for Efficient Plant Operation. [online]. 2011. Dostupný z WWW: <<https://www.yokogawa.com/rd/pdf/TR/rd-ter05401-008.pdf>>.
- [9] Control room design. [online]. Health and Safety Executive 2012. Dostupný z WWW: <<http://www.hse.gov.uk/comah/sragtech/techmeascontrol.htm>>.
- [10] Safety Standards for protecting people and the environment: Application of the Management System for Facilities and Activities, Safety Guide No. GS-G–3.1. [online]. IAEA. 2006. Dostupný z WWW: <http://www-pub.iaea.org/mtcd/publications/pdf/pub1253_web.pdf>.
- [11] Ivergard, T. – Hunt, B.: Handbook of Control Room Design and Ergonomics: A Perspective for the Future. CRC Press. 2nd ed. 2009. ISBN 13: 978–1–4200–6429–2.
- [12] Skřehot, P.: Spolehlivost lidského činitele v prevenci závažných havárií. Ostrava: Vysoká škola báňská,

Technická univerzita Ostrava. Fakulta bezpečnostního inženýrství. Katedra bezpečnostního managementu, 2012. 113 p. (+ 4 přílohy). Vedoucí disertační práce: Doc. Dr. Ing. Aleš Bernatík.

- [13] Hendrikse, J. E. – McCafferty, D.: Control Centre: Layout and Location Design. [online]. 2004. Dostupný z WWW: <<https://www.eagle.org/eagleExternalPortalWEB/ShowProperty/BEA%20Repository/References/Technical%20Papers/2004/ControlCentreLayoutLocationDesign>>.
- [14] Office Ergonomics: Practical solutions for a safer workplace. [online]. Washington State Department of Labor and Industries. 2002. Dostupný z WWW: <<http://www.lni.wa.gov/IPUB/417-133-000.pdf>>.
- [15] Best Practice Human Factors Guidance for Control Room/HMI Design. [online]. Highways Agency. 2010. Dostupný z WWW: <http://assets.highways.gov.uk/specialist-information/knowledge-compendium/2009-11-knowledge-programme/HF_Guidance_PIN_510540.pdf>.